

# СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СФЕРІ БЕЗПЕКИ ТА ОБОРОНИ

ISSN 2311-7249 (Print)

ISSN 2410-7336 (Online)

№ 1(40)  
2021

## Науковий журнал

### Засновник і видавець

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

### Адреса редакції

Національний університет оборони України  
імені Івана Черняховського  
Інститут інформаційних технологій  
Повітрофлотський проспект, 28,  
Київ, 03049  
sitnuou@ukr.net  
http://www.sit.nuou.org.ua  
телефон: (044)-271-07-31, (098)-273-48-62  
факс: (044)-271-07-31

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

Журнал видається  
українською, російською та англійською мовами  
Журнал виходить 3 рази на рік

Наказом Міністерства освіти і науки України  
№409 від 17.03.2020 р. та №886 від 02.07.2020 р.  
журнал включено до Переліку наукових фахових  
видань України категорії "Б" в галузях  
"технічні науки" та "військові науки",  
спеціальності – 122, 124, 253, 254

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Національного університету оборони України  
імені Івана Черняховського

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:  
Google Academy, Index Copernicus,  
The Journal Impact Factor,  
Directory of Research Journals Indexing (DRJI)

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

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

### В номері:

<i>Загорка О.М., Поліщук С.В., Загорка І.О.</i> Методика визначення раціональної просторової структури системи радіолокаційної розвідки повітряного противника.....	5
<i>Лаврут О.О., Лаврут Т.В., Здоренко Ю.М., Колесник В.О.</i> Модель та метод управління інформаційними потоками у телекомунікаційній мережі тактичної ланки управління.....	13
<i>Штонда Р.М., Куцаєв В.В., Сівоха О.М., Артемчук М.В.</i> Методи протидії вірусу шифрувальник в інформаційних системах.....	27
<i>Масєсов М.О., Кротов В.Д., Опенько П.В.</i> Активне управління чергою в тактичних радіомережах з використанням нечіткої логіки.....	37
<i>Гусак Ю.А., Кірсанов С.О., Островський С.М.</i> Математична модель автоматизованого управління військами в АСУВ типу С4ISR.....	47
<i>Пермяков О.Ю., Королюк Н.О., Королюк А.О., Коротченко Л.А.</i> Новий підхід щодо планування маршруту польоту безпілотних літальних апаратів на основі нечітких множин.....	55
<i>Артюшин Л.М., Герасименко В.В., Коваль В.В.</i> Метод формування спільної авіаційної групи.....	63
<i>Лозовий М.Г., Воробійов О.М., Власов І.О., Чапля М.М.</i> Досвід організації медичного забезпечення військ (сил) в операції Об'єднаних сил.....	69
<i>Рубан І.В., Тютюнник В.В., Тютюнник О.О.</i> Особливості створення системи підтримки прийняття антикризових рішень в умовах невизначеності вхідної інформації при надзвичайних ситуаціях.....	75
<i>Шишианов М.О., Кондратюк І.В., Веретнов А.О.</i> Методичні основи комплексного обрuntuвання вимог до відновлювальності складних технічних систем.....	85
<i>Братко А.В., Мисик А.Б.</i> Аналіз методологічного апарату оцінки загроз у сфері безпеки державного кордону.....	95
<i>Міночкін А.І., Кузавков В.В., Погребняк С.В.</i> Визначення технічного стану складових вторинних джерел живлення за фізико-хімічними процесами в електролітичних конденсаторах під час експлуатації.....	99
<i>Швець М.В.</i> Методика оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки.....	105
<i>Кивлюк В.С., Лазоренко В.І., Ганненко Ю.О., Лаврук М.П.</i> Проблеми управління системою забезпечення військовим майном військ (сил) Збройних Сил України та шляхи їх вирішення.....	111
<i>Чумаченко С.М., Мурсов Р.К., Мельник Я.В.</i> Теоретико-методологічні основи інформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури в умовах збройного конфлікту на сході України.....	117
<i>Адамов Ю.І., Завальнюк В.В., Дідик В.О., Печорін О.М.</i> Методика визначення кількості сил і засобів десантно-штурмових військ при виконанні бойових завдань.....	123
<i>Чопа Д.А., Дерев'янчук А.Й., Дерев'янчук В.А.</i> Методичний підхід щодо створення та доступу до віддалених віртуальних сховищ навчального контенту для підготовки фахівців РВ і А.....	129
<i>Гозяниці С.Ю., Заболотний О.А., Клочко А.О., Руденко Є.Г.</i> Моделі проєктування знань експертно-навчальної системи підготовки військових фахівців.....	137
<i>Кравченко Ю.В., Махно Є.П., Тищенко М.Г., Шапран О.О.</i> Модель інтелектуалізації планування часу на виконання навчального завдання у системі дистанційного навчання.....	143
<i>Репіло Ю.Є., Головченко О.В.</i> Модель ведення бойових дій артилерійськими підрозділами під час вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій.....	153
<i>Приміренко В.М.</i> Математична формалізація впливу бойового застосування далекобійних засобів ураження на досягнення вогневої переваги над противником.....	163
<i>Войтко О.В.</i> Особливості проведення аналізу відкритих джерел при розробленні паспорту цільових аудиторій в інтересах реалізації стратегічного нарративу держави.....	169
<i>Дергильова О.В.</i> Модель науково-технічної сфери системи забезпечення воєнної безпеки держави.....	175

---

## **Редакційна колегія**

### ***Головний редактор***

**РАКУШЕВ Михайло Юрійович,**

доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського

### ***Члени редколегії:***

**КОРОЛЮК Наталія Олександрівна,**  
кандидат технічних наук, доцент

**МАЦЬКО Олександр Йосипович,**  
кандидат військових наук, професор

**ДАНИК Юрій Григорович,**  
доктор технічних наук, професор

**КАТЕРИНЧУК Іван Степанович,**  
доктор технічних наук, професор

**КОЦЮРУБА Володимир Іванович,**  
доктор технічних наук, доцент

**КРАВЧЕНКО Юрій Васильович,**  
доктор технічних наук, професор

**ЗИНЧЕНКО Андрій Олександрович,**  
доктор технічних наук, доцент

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

**РУБАН Ігор Вікторович,**  
доктор технічних наук, професор

**ГАЦЕНКО Сергій Станіславович,**  
кандидат технічних наук

**САВЧЕНКО Віталій Анатолійович,**  
доктор технічних наук, професор

**МАЛАНЧУК Марина Федорівна,**  
кандидат економічних наук

**Goran SHIMIC,**  
доктор філософії, професор

**ПЕРМЯКОВ Олександр Юрійович,**  
доктор технічних наук, професор

**ВОЙТКО Олександр Володимирович,**  
кандидат військових наук

**ВАРЛАМОВ Ігор Давидович,**  
кандидат технічних наук, доцент

**ЛОБАНОВ Анатолій Анатолійович,**  
доктор військових наук, професор

**РОМАНЧЕНКО Ігор Сергійович,**  
доктор військових наук, професор

**ТЕЛЕЛИМ Василь Максимович,**  
доктор військових наук, професор

**РЕПЛО Юрій Євгенович,**  
доктор військових наук, професор

**ШЕМАЄВ Володимир Миколайович,**  
доктор військових наук, професор

**СОЛОННИКОВ Владислав Григорович,**  
доктор технічних наук, професор

**ЛАВРІНЧУК Олександр Васильович,**  
кандидат технічних наук, старший науковий  
співробітник

***Технічний редактор***  
**ГРОЗОВСЬКИЙ Роман Іванович**

# MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE SPHERE OF SECURITY AND DEFENCE

ISSN 2311-7249 (Print)

ISSN 2410-7336 (Online)

№ 1(40)  
2021

Scientific journal

## Founder and Publisher

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

## Address:

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

Povitroflotskiy ave. 28, Kyiv, 03049  
sitnuou@ukr.net

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

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

Fax: (044)-271-07-31

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

The journal is published  
in Russian, Ukrainian and English

The journal is published thrice a year

According to the orders of the Ministry of Education and  
Science of Ukraine № from 17.03.2020 and №886 from  
02.07.2020 the journal was included in the List of scientific  
professional publications of Ukraine, "B" category,  
"technical sciences" and "military sciences" fields,  
specialties 122, 124, 253, 254

*Recommended to publication  
by the Scientific Council of the National  
Defence University of Ukraine  
named after Ivan Cherniakhovskiy*

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:  
*Google Academy, Index Copernicus,  
The Journal Impact Factor,  
Directory of Research Journals Indexing (DRJI)*

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

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

## Contents:

<i>Zahorka O., Polishchuk S., Zahorka I.</i> Method of determining the rational spatial structure of the radio surveillance system of the air enemy .....	5
<i>Lavrut O., Lavtut T., Zdorenko Y., Kolesnyk V.</i> Model and method of information flow management in the telecommunications network of the tactical level of command.....	13
<i>Shtonda R., Kutsaev V., Sivokha E., Artemchuk M.</i> Methods for anti-entry virus in information systems .....	27
<i>Masesov M., Krotov V., Open'ko P.</i> Fuzzy logic based active queue management in tactical radio networks .....	37
<i>Husak U., Kirsanov S., Ostrovskiy S.</i> Mathematical model of automated command and control in automated command and control system similar to C4ISR .....	47
<i>Permiakov O., Korolyuk N., Korolyuk A., Korotchenko L.</i> A new approach to planning the flight route of unmanned aircraft based on fuzzy sets .....	55
<i>Artyushin L., Herasymenko V., Koval V.</i> The method of a joint aviation group forming.....	63
<i>Lozovuy M., Vorobiov O., Vlasov I., Chaplia M.</i> Experience of organization of medical support of troops (forces) in the operation of the joint forces .....	69
<i>Ruban I., Tiutiunyk V., Tiutiunyk O.</i> Features of creating anti-crisis decision support system under uncertainty of input information in emergency situations .....	75
<i>Shishanov M., Kondratiuk I., Veretnov A.</i> Methodological fundamentals of complex justification of requirements for comprehensibility of complex technical systems .....	85
<i>Bratko A., Mysyk A.</i> Analysis of the methodological apparatus of threat assessment in the field of the state border security .....	95
<i>Minochkin A., Kuzavkov V., Pohrebniak S.</i> Determination of technical condition of components of secondary power supplies by physicochemical processes in electrolytic capacitors during operation .....	99
<i>Shvets M.</i> Methodology for assessing the effectiveness of metrological support of weapons and military equipment operation .....	105
<i>Kyvlyuk V., Lazorenko V., Hannenko Y., Lavruk M.</i> Problems of management of the system of provision of military property of the troops of the armed forces of Ukraine and ways of their solution .....	111
<i>Chumachenko S., Murasov R., Melnyk Y.</i> Theoretical and methodological basis of information analysis of ecological and man-general threats for potentially hazardous facilities of critical infrastructure in the conditions of the armed conflict in the east of Ukraine .....	117
<i>Adamov Y., Zavalnyuk V., Didyk V., Pechorin O.</i> Evaluation of assault troops combat potential necessary for successful completion of multi-staged combat missions .....	123
<i>Chopa D., Derevianchuk A., Derevianchuk V.</i> Methodological approach to creation and access to remote virtual storage of educational content for the training of artillery specialists .....	129
<i>Hohoniants S., Zabolotny O., Klochko A., Rudenko E.</i> Models of knowledge design of expert training system for military specialists .....	137
<i>Kravchenko Y., Makhno Y., Tyshchenko M., Shapran O.</i> The intellectualization model of time scheduling for performing a training task in a distance learning system.....	143
<i>Repilo Y., Golovchenko O.</i> The model of combating by artillery units during fire support during offensive actions .....	153
<i>Prymirenko V.</i> Mathematical formalization of influence of combat application of long-term means of damage on achievement of fire advantage over the enemy .....	163
<i>Voitko O.</i> Features of analysis of open sources in the development of the passport of target audiences in the interest of the implementation of strategic derator .....	169
<i>Derhylova O.</i> Model of scientific and technical sphere of the state military security system .....	175

---

## **Editorial Board**

### *Chief Editor*

*Mykhailo RAKUSHEV,*

Doctor of technical sciences, senior research fellow  
National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi

### *Editorial Board members:*

*Nataliia KOROLIUK,*

candidate of technical sciences,  
associate professor

*Yurii DANYK,*

doctor of technical sciences, professor

*Volodymyr KOTSIURUBA,*

doctor of technical sciences, associate professor

*Andrii ZINCHENKO,*

doctor of technical sciences, professor

*Ihor RUBAN,*

doctor of technical sciences, professor

*Vitalii SAVCHENKO,*

doctor of technical sciences, professor

*Goran SHIMIC,*

doctor of philosophy, professor

*Oleksandr VOITKO,*

candidate of military sciences

*Anatolii LOBANOV,*

doctor of military sciences, professor

*Vasyl TELELYM,*

doctor of military sciences, professor

*Volodymyr SHEMAIEV,*

doctor of military sciences, professor

*Oleksandr LAVRINCHUK,*

candidate of technical sciences,  
senior research fellow

*Oleksandr MATSKO,*

candidate of military sciences, professor

*Ivan KATERYNCHUK,*

doctor of technical sciences, professor

*Yurii KRAVCHENKO,*

doctor of technical sciences, professor

*Serhii KOVBASJUK,*

doctor of technical sciences,  
senior research fellow

*Serhii HATSENKO,*

candidate of technical sciences

*Maryna MALANCHUK,*

candidate of economic sciences

*Oleksandr PERMIAKOV,*

doctor of technical sciences, professor

*Ihor VARLAMOV,*

candidate of technical sciences,  
associate professor

*Ihor ROMANCHENKO,*

doctor of military sciences, professor

*Yurii REPILO,*

doctor of military sciences, professor

*Vladyslav SOLONNIKOV,*

doctor of technical sciences, professor

### *Technical Editor*

*Roman HROZOVSKYI*

*Олексій Миколайович Загорка (доктор військових наук, професор)*

*Сергій Васильович Поліщук (кандидат військових наук)*

*Ірина Олексіївна Загорка*

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

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ ПРОСТОРОВОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ ПОВІТРЯНОГО ПРОТИВНИКА

*Ефективність протиповітряної оборони військ і об'єктів суттєво залежить від функціонування системи розвідки повітряного противника. Своєчасність видачі інформації про засоби повітряного нападу противника зенітним ракетним дивізіонам є визначальним для їх надійного ураження. Невизначеність дій засобів повітряного нападу, а саме висот їх застосування і напрямків удару по військах і об'єктах, обумовлює необхідність при організації розвідки розглядати декілька варіантів побудови просторової структури системи розвідки повітряного противника з метою її оптимізації.*

*У статті запропоновано методику визначення раціональної просторової структури системи розвідки повітряного противника, в якій за критерій оптимізації прийнято ефективність функціонування системи розвідки повітряного противника, що оцінюється математичним сподіванням відносної величини кількості засобів повітряного нападу зі складу удару, що виявлені і по яким своєчасно видана інформація зенітним ракетним дивізіонам.*

*Ефективність функціонування системи розвідки повітряного противника визначається як добуток імовірності виявлення цілей системи розвідки повітряного противника та імовірності своєчасної видачі інформації по них зенітним ракетним дивізіонам. Імовірність виявлення цілі системи розвідки повітряного противника визначається із урахуванням коефіцієнта перекриття радіолокаційного поля, імовірності своєчасної видачі інформації зенітним ракетним дивізіонам із використанням нормальної функції розподілу Лапласа. При оцінюванні ефективності функціонування системи розвідки повітряного противника ураховуються можливі діапазони висот застосування засобів повітряного нападу і напрямки їх ударів по військах і об'єктах. Розподіл засобів повітряного нападу за діапазонами висот застосування здійснюється за евристичним методом. Коефіцієнти важливості (небезпечності) напрямків ударів засобів повітряного нападу визначаються із використанням експертного методу ранжування.*

*Варіанти просторової структури системи розвідки повітряного противника відрізняються розташуванням позицій радіолокаційних станцій на місцевості. Раціональним вважається варіант просторової структури, якому відповідає максимум ефективності функціонування системи розвідки повітряного противника.*

*Порядок використання розробленої методики визначення раціональної просторової структури системи розвідки повітряного противника показаний на прикладі. Методика може використовуватись під час організації розвідки повітряного противника органами управління радіотехнічних військ.*

***Ключові слова:** система розвідки, повітряний противник, просторова структура, критерій ефективності функціонування.*

### Вступ

**Постановка проблеми.** З досвіду воєнних конфліктів минулого випливає, що основна роль у виконанні бойових завдань належить засобам повітряного нападу (ЗПН). Тому для країни, яка може зазнати нападу агресора, важливим є забезпечення надійного прикриття військ і об'єктів від їх ударів.

Ефективність протиповітряної оборони (ППО) військ і об'єктів від ударів ЗПН багато в чому залежить від функціонування системи розвідки повітряного противника (СРПП), а саме від її можливостей щодо виявлення повітряних цілей і своєчасності видачі інформації про них активним засобам ППО.

Відомо, що основою СРПП є радіолокаційні засоби розвідки, розташування позицій яких на місцевості створює радіолокаційне поле (РЛП) з

потрібними параметрами. Тому оптимізація просторової структури СРПП є актуальним науковим і практичним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням питань побудови та оцінювання ефективності функціонування СРПП присвячено чимало праць.

Так, у праці [1] наведена система показників радіолокаційної розвідки та методичні положення щодо їх розрахунку, розглянуті принципи формування РЛП, приведений алгоритм імітації дій радіотехнічних військ (РТВ) та розрахунку ефективності їх застосування. Ефективність застосування РТВ оцінюється за відносною кількістю виявлених ЗПН з удару. При цьому не враховується своєчасність видачі інформації активним засобам ППО.

Методика визначення імовірності виявлення

повітряних цілей угрупованням РТВ наведена у праці [2]. При розрахунку імовірності виявлення цілей урахується рівень перешкод, рельєф місцевості, площа ефективної поверхні розсіювання цілей.

У монографії [3] розглянута імітаційна статистична модель функціонування СРПП. Модель дозволяє оцінювати математичні сподівання кількості цілей, що виявлені із імовірністю, не меншою ніж задана, кількості цілей, по яких своєчасно видано оповіщення, кількості цілей, по яких своєчасно видана бойова інформація активним засобам ППО. У моделі під час формування маршрутів польоту цілей використовується метод випадкового змінювання напрямків їх польоту у зоні радіолокаційної розвідки.

Відповідно до задачі оптимізації просторової структури системи розвідки, що наведена у праці [4], розглядається декілька варіантів розташування позицій радіоелектронних засобів, які повинні забезпечувати кругове виявлення повітряних цілей з різних напрямків з потрібною дальністю. Оптимальним вважається варіант розташування позицій радіоелектронних засобів, якщо забезпечується кругове виявлення повітряних цілей з максимально можливою кратністю перекриття зон виявлення радіоелектронних засобів за напрямками ударів повітряного противника. При великій кількості варіантів розташування позицій засобів розвідки пропонується під час оптимізації просторової структури системи розвідки використовувати метод, який заснований на ранговому підході до рішення задач цілочислового лінійного програмування з бульовими змінними. Таким чином задача оптимізації просторової структури системи розвідки у праці [4] розв'язується за максимумом кратності перекриття зон виявлення повітряних цілей радіоелектронних засобів за напрямками ударів повітряного противника при забезпеченні дальності виявлення повітряних цілей не нижче потрібної.

Однак, під час побудови СРПП відповідно до її призначення потрібно урахувати ефективність її функціонування, яка у рівній ступені залежить від можливостей виявлення повітряних цілей і можливостей щодо своєчасної видачі інформації по них активним засобам ППО. Тому при побудові системи радіолокаційної розвідки для оптимізації її просторової структури доцільно рівнозначно використовувати ці показники. Для оцінювання показників, за якими визначаються критерії, доцільно використовувати методичні підходи, що наведені у працях [1 – 3].

**Мета статті** полягає у розробці методики визначення раціональної просторової структури системи радіолокаційної розвідки повітряного простору.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Взагалі під системою розвідки розуміється сукупність функціонально взаємозалежних різномірних за структурою та принципами функціонування сил і засобів розвідки, діяльність яких спрямована на виконання завдання добування,

обробки та передачі споживачам розвідувальної інформації [4]. Система розвідки повітряного противника створюється РТВ. Матеріальною основою виконання бойових завдань, що стоять перед РТВ ППО є РЛП [5].

Радіолокаційне поле – область повітряного простору, в межах якого радіолокаційними засобами підрозділів радіотехнічної частини забезпечується виявлення, супроводження і визначення тактичних характеристик повітряних цілей і своїх літаків з імовірністю на менше заданої.

Розміщення на місцевості радіолокаційних станцій (РЛС), які створюють РЛП, визначає просторову структуру СРПП. Вибір позицій РЛС здійснюється з урахуванням умов місцевості та забезпечення інформацією активних засобів ППО. Для кожної РЛС під час формування РЛП може розглядатися декілька позицій, які у сукупності утворюють варіанти просторової структури СРПП.

При оптимізації просторової структури СРПП необхідно урахувати можливі напрямки ударів ЗПН по військах і об'єктах, що прикриваються силами ППО, та висоти їх застосування. Ефективність функціонування СРПП оцінюється математичним сподіванням ( $M$ ) відносної величини кількості ЗПН, які виявлені СРПП і по яким своєчасно видана інформація (оповіщення, бойова) активним засобам ППО. При завданні удару ЗПН з  $k$ -го напрямку ( $k = \overline{1, K}$ ) і їх застосуванні у  $r$ -му діапазоні висот ( $r = \overline{1, R}$ ) для  $j$ -го варіанта просторової структури СРПП ( $j = \overline{1, m}$ ) математичне сподівання  $M_{jrk}$  визначається за формулою

$$M_{jrk} = P_{jr}^B P_{jrk}^{CB}, \quad (1)$$

де  $P_{jr}^B$  – імовірність виявлення ЗПН СРПП;

$P_{jrk}^{CB}$  – імовірність своєчасної видачі інформації про ЗПН активним засобам ППО.

Імовірність  $P_{jr}^B$  визначається за відомою формулою [1 – 3]

$$P_{jr}^B = 1 - 0,5^{K_{пjr}}, \quad (2)$$

де  $K_{пjr}$  – коефіцієнт перекриття РЛП для  $j$ -го варіанта просторової структури СРПП і застосуванні ЗПН у  $r$ -му діапазоні висот.

У формулі (2) прийнято, що імовірність виявлення повітряної цілі РЛС дорівнює 0,5.

Коефіцієнт  $K_{пjr}$  відповідно до праці [3] пропонується визначати за формулою

$$K_{пjr} = 1 + \frac{S_{пер,jr}}{S_{зар,jr}}; j = \overline{1, m}; r = \overline{1, R}, \quad (3)$$

де  $S_{пер,jr}$  – сумарна площа ділянок взаємного перекриття зон виявлення РЛС;

$S_{зар,jr}$  – загальна площа РЛП для  $j$ -го варіанта просторової структури СРПП і застосуванні ЗПН у  $r$ -му діапазоні висот.

Зазвичай при проведенні оперативного-тактичних розрахунків за характеристики зони виявлення РЛС

приймають ЕПР цілі, яка дорівнює  $1 \text{ м}^2$ , імовірність виявлення цілі –  $0,5$ . У ТТХ РЛС дальність виявлення цілей приводиться для імовірності  $0,5$ .

Для перерахунку дальності виявлення цілей ( $D_{вр}$ ) зазвичай використовується формула

$$D_{вр} = D_{в0,5г} \prod_{l=1}^4 K_l, \quad (4)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт стиснення зони виявлення з урахуванням рівня перешкод;

$K_2$  – коефіцієнт стиснення зони виявлення, який враховує рельєф місцевості;

$K_3$  – коефіцієнт змінювання дальності виявлення з урахуванням ЕПР цілі;

$K_4$  – коефіцієнт перерахунку дальності виявлення для заданого значення імовірності виявлення цілі.

Визначення коефіцієнтів докладно наведено у працях [1, 3] і не потребує подальшого розгляду.

Для оцінювання імовірності  $P_{jrk}^{CB}$ , насамперед, необхідно визначити потрібну дальність виявлення цілі для забезпечення своєчасної видачі інформації активним засобом ППО.

Ця задача розв'язується у параметричній

системі координат (рис.1).

З урахуванням праць [1, 3] потрібна курсова дальність виявлення цілі визначається за формулою

$$S_{jrk}^{в.потр} = \sqrt{D_{ург}^2 - P_{зджk}^2 - \Delta S_{jk} + V_{ц}(t_3 + t_{зап} + t_{бр} + T_{цг})}, \quad (5)$$

де  $D_{ург}$  – дальність до дальньої межі зони ураження зрдн у  $г$ -му діапазоні висот;

$P_{зджk}$  – параметр польоту цілі при  $k$ -му напрямку удару ЗПН;

$\Delta S_{jk}$  – відстань між РЛС і зрдн у  $j$ -му варіанті просторової структури СРПП при дії ЗПН з  $k$ -го напрямку;

$V_{ц}$  – швидкість польоту ЗПН;

$t_3$  – час затримки видачі даних про ціль від РЛС;

$t_{зап}$  – час запізнювання приймання даних про ціль у пункті призначення;

$t_{бр}$  – час переведення зрдн у готовність до бойового застосування;

$T_{цг}$  – цикл стрільби зрдн для  $г$ -го діапазону висоти.

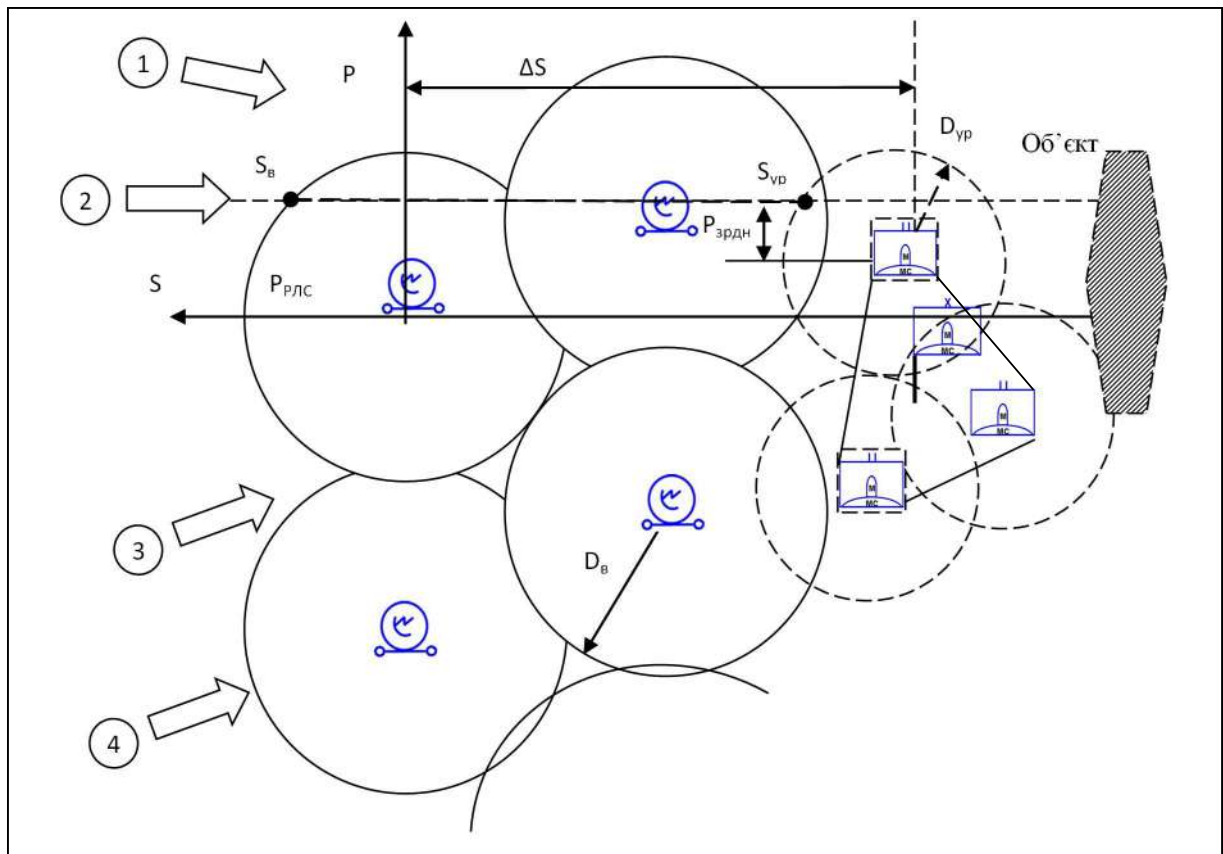


Рис 1. До розрахунку потрібної дальності видачі розвідувальної інформації

Під час проведення полігонних випробувань [6] за результатами обльоту РЛС літаками на різних висотах визначаються функції розподілу дальностей виявлення цілей, які перераховуються для умов застосування РЛС з використанням коефіцієнтів  $K_1$ . Далі функції розподілу

дальностей виявлення цілей приводяться до параметричної системи координат і визначаються середні значення  $m_{sjrk}$  і середні квадратичні відхилення  $\sigma_{sjrk}$  дальностей виявлення цілей.

Імовірність своєчасної видачі інформації по

ЗПН активним засобом ППО ( $P_{jrk}^{CB}$ ) визначається за формулою

$$P_{jrk}^{CB} = \Phi^* \left( \frac{m_{sjrk} - S_{jrk}^{B, \text{потр}}}{\sigma_{sjrk}} \right), \quad (6)$$

де  $\Phi^*$  – нормальна функція розподілу.

Для визначення дальностей виявлення цілей РЛС і дальностей їх ураження ЗРК можливі висоти застосування ЗПН від  $H_{\min}$  до  $H_{\max}$  розбиваються на  $R$  діапазонів. Задаються нижня межа  $H_{нr}$  і верхня межа  $H_{вр}$  діапазону висот, а також коефіцієнти, які характеризують розподіл ЗПН за діапазонами висот  $K_{ЗПНr}$ ,  $\sum K_{ЗПНr} = 1$ ,  $r = \overline{1, R}$ . Дальності виявлення цілей РЛС і дальності їх ураження ЗРК відповідно ТТХ визначаються для висот

$$H_r = \frac{H_{нr} + H_{вр}}{2}. \quad (7)$$

Під час побудови СРПП аналізується можливість завдання ударів ЗПН по військах і об'єктах з декількох напрямків і оцінюється їх важливість (небезпечність). Для цього можуть використовуватися методи експертного оцінювання, зокрема метод ранжирування [7]. Під ранжируванням розуміється процедура встановлення відносної значущості переваги об'єктів (у нашому випадку напрямків удару ЗПН) на підставі їх упорядкування.

Ранг – це показник, який характеризує порядкове місце об'єкта (напрямку удару) у групі інших об'єктів (направків удару). Напрямку удару, який найбільш небезпечний, надається перший ранг, а який найменш небезпечний – останній ранг.

Експерт має розташувати напрямки удару у порядку їх небезпечності і приписати кожному числу натурального ряду: 1, 2, ..., n. Після надання експертом рангів напрямкам удару визначаються коефіцієнти ( $C_{kv}$ ), які характеризують перевагу їх застосування при завданні удару по військах і об'єктах, за формулою [7]

$$C_{kv} = 1 - \frac{z_{kv} - 1}{K}; k = \overline{1, K}; v = \overline{1, L}, \quad (8)$$

де  $z_{kv}$  – ранг, який надав  $V$ -й експерт  $k$ -му напрямку;

$L$  – кількість експертів.

Потім значення коефіцієнтів  $C_{kv}$  нормуються

$$b_{kv} = \frac{C_{kv}}{\sum_k C_{kv}}; \sum_k b_{kv} = 1; k = \overline{1, K}. \quad (9)$$

Коли компетентність експертів вважається однаковою, важливість (небезпечність) напрямку удару визначається за формулою

$$B_k = \frac{1}{L} \sum_v b_{kv}, v = \overline{1, L}. \quad (10)$$

Коли компетентність  $V$ -го експерта оцінюється коефіцієнтом  $\xi_v$ , то

$$B_k = \sum_v \xi_v b_{kv}, \sum_v \xi_v = 1. \quad (11)$$

Для оцінювання вірогідності експертної оцінки використовується коефіцієнт конкордації [7, 8].

Оптимізація просторової структури СРПП здійснюється за варіантами її побудови, які відрізняються розміщенням позицій РЛС на місцевості. При цьому ураховуються прогнозовані висоти польоту ЗПН і напрямки завдання ударів противника по військах і об'єктах. За критерій оптимізації прийнята ефективність функціонування СРПП, яка оцінюється математичним сподіванням відносної величини кількості ЗПН зі складу удару, що виявленні і по яким своєчасно видана інформація активним засобом ППО. Рациональна просторова структура СРПП відповідно (1) визначається за максимумом ефективності функціонування з використанням виразу

$$\max_j M_j = \sum_r \left( K_{ЗПНr} P_{jr}^B \sum_k B_k P_{jrk}^{CB} \right), j = \overline{1, m}. \quad (12)$$

При цьому ефективність функціонування раціонального варіанта просторової структури СРПП  $M_j^*$  повинна бути не менше заданої  $M_{зад}$ .

При визначенні варіантів просторової структури СРПП необхідно враховувати потрібну ширину по фронту і глибину району відповідальності угруповання РТВ.

Структурна схема методики оптимізації просторової структури СРПП наведено на рис. 2. Відповідно до наведеної методики при ефективності функціонування СРПП нижче заданої  $M_{зад}$  здійснюється уточнення варіантів її просторової структури (розташування позицій РЛС на місцевості) і розрахунки повторюються.

Як приклад, розглянуто визначення просторової структури СРПП, для створення РЛП якої використовується шість РЛС типу 5Н87. Прикриття об'єкта від ударів ЗПН здійснюється зенітною ракетною бригадою С-300П у складі трьох зрдн. Місцевість пагориста, виявлення повітряних цілей здійснюється в умовах перешкод середньої інтенсивності.

При оптимізації просторової структури СРПП аналізується дія ЗПН із чотирьох можливих напрямків ( $K=4$ ) і п'ять діапазонів висот їх застосування ( $R=5$ ). Розглядається п'ять варіантів просторової структури СРПП ( $m=5$ ).

З урахуванням праць [5, 9] у табл. 1 наведені дальності виявлення цілей РЛС  $D_{в.0.5r}$  відповідно до ТТХ, розраховані дальності виявлення цілей РЛС  $D_{вр}$  і дальності їх ураження зрдн  $D_{урr}$  для  $R$  діапазонів висот.

При розрахунках прийнято: швидкість цілі 300 м/с; часові характеристики  $t_3 = 60$  с,  $t_{зап} = 30$  с,  $t_{бр} = 30$  с., час циклу стрільби зрдн розраховується відповідно до дальностей ураження цілі зрдн і складає 60 – 230 с.

Коефіцієнти перекриття РЛП  $K_{пjr}$  і імовірності виявлення цілей СРПП  $P_{jr}^B$  для варіантів



просторової структури приведені у табл. 2.

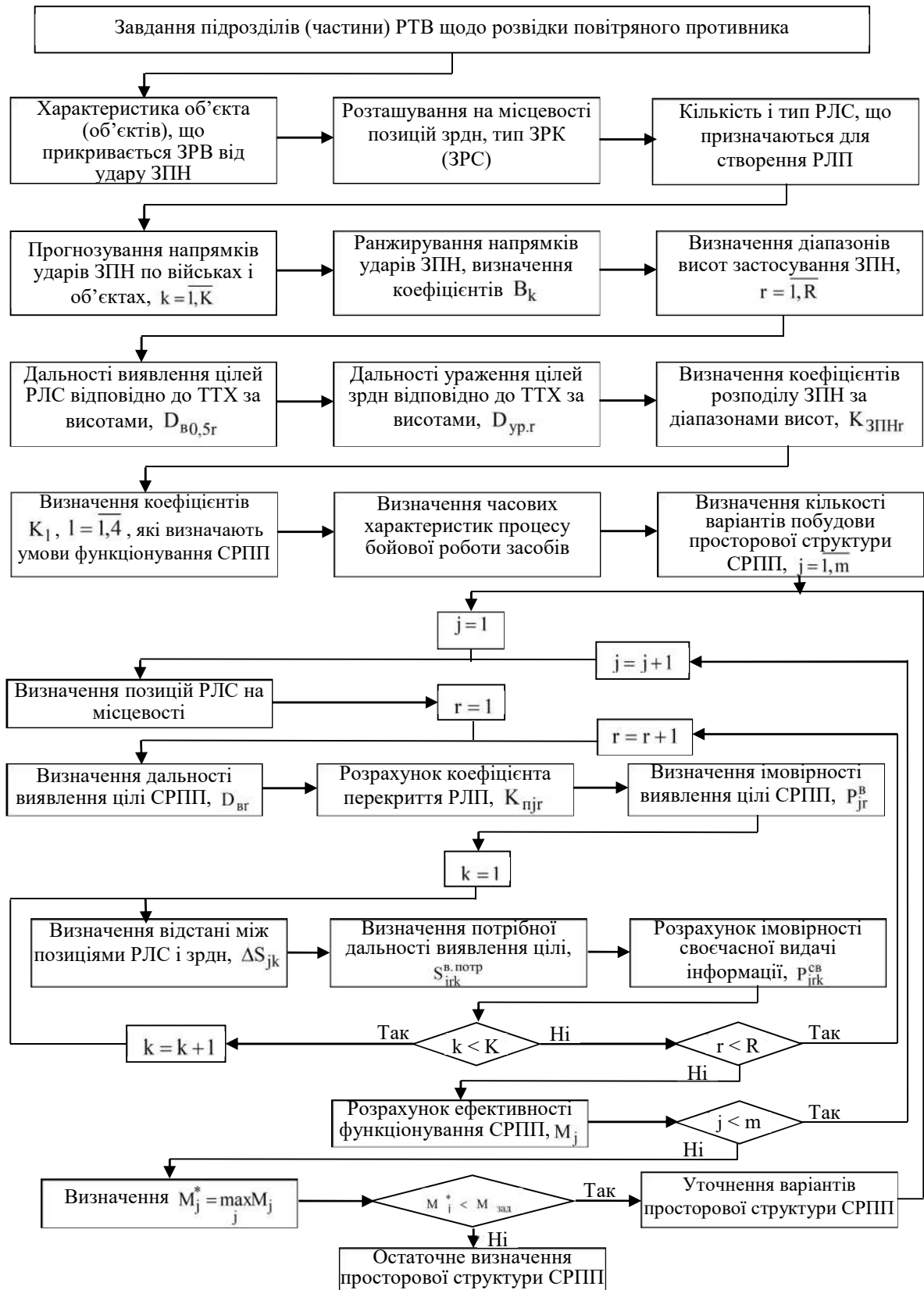


Рис. 2. Структурна схема методикі оптимізації просторової структури СРПП

Позиції РЛС, які відповідають варіантам просторової структури СРПП, позначаються на топографічній карті місцевості. Для розрахунку потрібних дальностей виявлення цілей у параметричній системі координат  $S_{jrk}^{в.потр}$

визначаються відстані між позиціями РЛС і зрдн  $\Delta S_{jk}$  і курсові параметри цілей  $P_{РЛС,jk}$ ,  $P_{зрдн,jk}$  для кожного прогнозованого напрямку удару.

Результати розрахунків імовірностей своєчасної видачі інформації по ЗПН активним засобам ППО

для першого варіанта просторової структури СРПП

$P_{1rk}^{CB}$  наведені у табл. 3.

Таблиця 1

Дальності виявлення цілей РЛС і їх ураження зрдн

Номер діапазону висот, г	Висота польоту цілі, $H_r$ , км	Дальність виявлення цілі РЛС $D_{в.0.5г}$ , км	Коефіцієнти		Дальність виявлення цілі РЛС $D_{в.г}$ , км	Дальність ураження цілі зрдн, $D_{ур.г}$ , км	Коефіцієнт розподілу висот $K_{зПНг}$
			$K_1$	$K_2$			
1	0,3	65	0,8	0,7	36,4	20	0,15
2	2,0	140	0,8	0,8	89,6	55	0,40
3	4,0	185	0,8	0,8	118,4	65	0,25
4	6,0	240	0,8	1,0	192,0	70	0,15
5	10,0	300	0,8	1,0	240,0	75	0,05

Таблиця 2

Коефіцієнти перекриття РЛП та імовірності виявлення цілей СРПП

Показники	Варіанти просторової структури СРПП, j														
	1					2					3				
	Висота $H_r$ , км					Висота $H_r$ , км					Висота $H_r$ , км				
	0,3	2,0	4,0	6,0	10,0	0,3	2,0	4,0	6,0	10,0	0,3	2,0	4,0	6,0	10,0
$K_{пјг}$	1,05	1,62	1,95	2,42	2,63	1,20	1,70	2,10	2,55	2,70	1,28	1,74	2,18	2,64	2,85
$P_{јг}^B$	0,52	0,67	0,74	0,81	0,84	0,56	0,69	0,77	0,83	0,85	0,59	0,70	0,78	0,84	0,86

Показники	Варіанти просторової структури СРПП, j									
	4					5				
	Висота $H_r$ , км					Висота $H_r$ , км				
	0,3	2,0	4,0	6,0	10,0	0,3	2,0	4,0	6,0	10,0
$K_{пјг}$	1,15	1,65	2,00	2,52	2,69	1,32	1,78	2,25	2,76	2,91
$P_{јг}^B$	0,55	0,68	0,75	0,83	0,84	0,60	0,71	0,79	0,85	0,87

Таблиця 3

Результати розрахунків імовірностей своєчасної видачі інформації по засоби повітряного нападу активним засобам ППО

Висота польоту ЗПН, $H_r$ , км	Номер напрямку удару, k	Курсові параметри		Відстань між РЛС і зрдн, $\Delta S_{jk}$ , км	Потрібна дальність виявлення цілі, $S_{јгk}^{в.потр}$ , км	Числові характеристики дальності виявлення цілі		Імовірність своєчасної видачі інформації, $P_{јгk}^{CB}$
		$P_{РЛС.јк}$ , км	$P_{зрдн.јк}$ , км			$m_{sjrk}$ , км	$\sigma_{sjrk}$ , км	
0,3	1	15	0	35	39,0	35,0	5	0,21
	2	30	10	50	21,3	20,5	5	0,44
	3	25	15	45	22,2	26,5	5	0,80
	4	0	12	40	30,0	36,4	5	0,90
2,0	1	15	0	35	86,0	88,5	7	0,64
	2	30	10	50	70,0	84,5	7	0,98
	3	25	15	45	74,0	86,0	7	0,95
	4	0	12	40	70,5	89,6	7	0,99
4,0	1	15	0	35	99,0	117,0	9	0,98
	2	30	10	50	83,0	114,0	9	0,99
	3	25	15	45	87,3	115,0	9	0,99
	4	0	12	40	92,8	118,4	9	0,99
6,0	1	15	0	35	107,0	190,0	10	0,99
	2	30	10	50	91,3	189,9	10	0,99
	3	25	15	45	95,4	190,4	10	0,99
	4	0	12	40	100,9	192,0	10	0,99
10,0	1	15	0	35	115	239,5	10	0,99
	2	30	10	50	99,3	238,1	10	0,99
	3	25	15	45	103,5	238,7	10	0,99
	4	0	12	40	109,0	240	10	0,99

Імовірність своєчасної видачі СРПП інформації активним засобам ППО по цілях, які здійснюють політ на великих висотах, практично дорівнює 1,0, тому що дальність виявлення цілей СРПП значно

перевищує потрібні дальності для забезпечення обстрілу цілей на дальній межі зони ураження зрдн.

Коефіцієнт важливості (небезпечності) напрямків ударів ЗПН визначені із використанням методу ранжирування і дорівнюють:

$$B_1 = 0,1; B_2 = 0,4; B_3 = 0,3; B_4 = 0,2.$$

Ефективність функціонування СРПП для першого варіанта просторової структури, яка розрахована за даними табл. 2, 3,  $M_1 = 0,613$ .

Аналогічно розрахована за формулою (12) ефективність функціонування СРПП для решти варіантів її просторової структури. Результати розрахунків наведені на рис. 3.

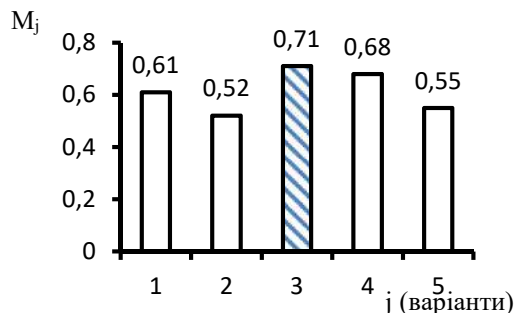


Рис. 3. Ефективність функціонування СРПП для різних варіантів її просторової структури

### Література

**1. Городнов В.П.** Моделирование боевых действий войск (сил) противоповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку): Монографія / Городнов В.П., Дробаха Г.А., Ермошин М.О., Смірнов С.Б. – Харків: ХВУ, 2004. – 410 с. **2. Городнов В.П.** Методики прогноза ефективності групувань родов войск ПВО.– Х.: ХВУ, 1999.–32 с. **3. Романченко І.С.** Теорія і практика боротьби з малорозмірними низьколітніми цілями (оцінка можливостей, тенденції розвитку засобів протиповітряної оборони: монографія / І.С. Романченко, О.М. Загорка, С.Г. Бутенко, О.В. Дейнега. –Житомир: “Полісся”, 2011. – 344 с. **4. Ярош С.П.** Теоретичні основи побудови та застосування розвідувально-управляючих інформаційних систем протиповітряної оборони: монографія /

На основі аналізу рис. 3, раціональним є третій варіант просторової структури СРПП, якщо задана ефективність функціонування СРПП  $M_{зад} = 0,7$ .

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Розроблено методика оптимізації просторової структури СРПП на підставі максимізації ефективності її функціонування з урахуванням можливих висот застосування ЗПН і напрямків їх ударів по військах і об’єктах.

Ефективність функціонування СРПП визначається як добуток імовірності виявлення цілей СРПП та імовірності своєчасної видачі інформації по них зрдн.

Порядок використання методики показано на прикладі визначення просторової структури СРПП, яка містить РЛС одного типу. У подальшому доцільно у методиці передбачити використання при створенні РЛП РЛС різних типів (малих і великих висот).

Методика може використовуватися органами військового управління при організації розвідки повітряного противника.

С. Ярош; за заг. ред. І.О. Кириченка. – Х.: ХУПС, 2012. – 512 с. **5. Торопчин А.Я.** Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пашенко та ін. – К: МО України; Х.: ХВУ, 2003. – 368 с. **6. Дубас В.Н.,** Иванов В.А., Пулятин В.Г. Полигонные испытания радиолокационных станций слежения на стадии их разработки. – К.: Институт новых физических и прикладных проблем, 1993. – 132 с. **7. Денисов А.А.,** Колесников Д.Н. Теория больших систем управления: Учебное пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 288 с. **8. Бешелев С.Д.,** Гурвич Ф.Г. Экспертные оценки. – М.: “Наука”, 1973. – 160 с. **9. Ганин С.М.,** Карпенко А.В., Жизневский В.И., Федотов Г.В. Зенитная ракетная система С-300 / Под ред. А.Г. Магрицкого. – Санкт-Петербург: “Гангут”, Невский бастион, вып. 3, 1977. – 72 с.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ ВОЗДУШНОГО ПРОТИВНИКА

*Алексей Николаевич Загорка (доктор военных наук, профессор)*

*Сергей Васильевич Полищук (кандидат военных наук)*

*Ирина Алексеевна Загорка*

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

*Эффективность противовоздушной обороны войск и объектов существенно зависит от функционирования системы разведки воздушного противника. Своевременность выдачи информации о средствах воздушного нападения противника зенитным ракетным дивизионам является определяющим для их надежного поражения. Неопределенность действий средств воздушного нападения, а именно высот их применения и направлений удара по войскам и объектам, обуславливает необходимость при организации разведки рассматривать несколько вариантов построения пространственной структуры системы разведки воздушного противника с целью ее оптимизации.*

*В статье предложена методика определения рациональной пространственной структуры системы разведки воздушного противника, в которой в качестве критерия оптимизации принято эффективность функционирования системы разведки воздушного противника, которая оценивается математическим ожиданием относительной величины количества средств воздушного нападения из состава удара, которые обнаружены и по которым своевременно выдана информация зенитным ракетным дивизионам.*

*Эффективность функционирования системы разведки воздушного противника определяется как произведение вероятности обнаружения целей системой разведки воздушного противника и вероятности своевременной выдачи информации по ним зенитным ракетным дивизионам. Вероятность обнаружения цели системой разведки воздушного противника определяется с учетом коэффициента перекрытия радиолокационного поля, вероятности своевременной выдачи информации зенитным*

ракетным дивизионам с использованием нормальной функции распределения Лапласа. При оценивании эффективности функционирования системы разведки воздушного противника учитываются возможные диапазоны высот применения средств воздушного нападения и направления их ударов по войскам и объектам. Распределение средств воздушного нападения по диапазонам высот применения осуществляется с помощью эвристического метода. Коэффициенты важности (опасности) направлений ударов средств воздушного нападения определяются с использованием экспертного метода ранжирования.

Варианты пространственной структуры системы разведки воздушного противника отличаются расположением позиций радиолокационных станций на местности. Рациональным считается вариант пространственной структуры, которому соответствует максимум эффективности функционирования системы разведки воздушного противника.

Порядок использования разработанной методики определения рациональной пространственной структуры системы разведки воздушного противника показан на примере. Методика может использоваться при организации разведки воздушного противника органами управления радиотехнических войск.

**Ключевые слова:** система разведки, воздушный противник, пространственная структура, критерий эффективности функционирования.

## METHOD OF DETERMINING THE RATIONAL SPATIAL STRUCTURE OF THE RADIO SURVEILLANCE SYSTEM OF THE AIR ENEMY

*Oleksii Zahorka (Doctor of Military Sciences, Professor)*

*Serhii Polishchuk (Candidate of Military Sciences)*

*Iryna Zahorka*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine*

*The effectiveness of air defense troops and facilities depends significantly on the functioning of the enemy's reconnaissance system. The timeliness of the issuance of information on enemy air attack means to anti-aircraft missile divisions is crucial for their reliable defeat. Uncertainty of air attack means, namely the height of their use and directions of attack on troops and objects, necessitates the need to consider several options for building the spatial structure of the enemy's reconnaissance system in order to optimize it.*

*The article proposes a method for determining the rational spatial structure of the enemy reconnaissance system, in which the optimization criterion is the effectiveness of the enemy reconnaissance system, which is estimated by the mathematical expectation of the relative number of air attack means from the strike, detected and timely information divisions.*

*The effectiveness of the enemy's reconnaissance system is defined as the product of the probability of identifying the objectives of the enemy's reconnaissance system and the probability of timely issuance of information on them to anti-aircraft missile divisions. The probability of detecting the target of the enemy air reconnaissance system is determined taking into account the overlap of the radar field, the probability of timely delivery of information to anti-aircraft missile divisions using the normal Laplace distribution function. When assessing the effectiveness of the enemy air reconnaissance system, the possible ranges of heights of the use of air attack means and the directions of their strikes on troops and objects are taken into account. The distribution of air attack means by altitude ranges is carried out by the heuristic method. Coefficients of importance (danger) of directions of blows of means of air attack are defined with use of an expert method of ranking.*

*Variants of the spatial structure of the enemy reconnaissance system differ in the location of radar stations on the ground. A variant of the spatial structure is considered rational, which corresponds to the maximum efficiency of the enemy's reconnaissance system.*

*The procedure for using the developed method of determining the rational spatial structure of the enemy air reconnaissance system is shown by example. The technique can be used during the organization of reconnaissance of the enemy air by the control bodies of radio troops.*

**Keywords:** reconnaissance system, air enemy, spatial structure, criterion of efficiency of functioning.

### References

1. **Gorodnov V.P.** Modeling of combat operations of troops (forces) of air defense and information support of their management processes (theory, practice, history of development): Monograph / Gorodnov V.P., Drobaha G.A., Yermoshin M.O., Smimov E.B. – Kharkiv: KhVU, 2004. - 410 p. 2. **Gorodnov V.P.** Methods for forecasting the effectiveness of groups of air defense forces. – Kh.: KhVU, 1999. – 32 p. 3. **Romanchenko I.S.** Theory and practice of combating small-scale low-level targets (assessment of opportunities, trends in the development of air defense: a monograph / I.S. Romanchenko, O.M. Zagorka, S.G. Butenko, O.V. Deinega. – Zhytomyr: "Polissya", 2011. – 344 pp. 4. **Yarosh S.P.** Theoretical bases of construction and application of reconnaissance and control information systems of

air defense: monograph / S.P. Yarosh, edited by I.O. Kirichenko. KhUPS, 2012. – 512 pp. 5. **Toropchyn A.Y.** Handbook of air defense / A.Y. Toropchyn, I.O. Romanenko, Y.G. Danyk, R.E. Pashchenko, etc. – K: MO KhVU, 2003 – 368 pp. 6. **Dubas V.N., Ivanov V.A., Putyatin V.G.** Field tests of radar tracking stations at the stage of their development – K.: Institute of New Physical and applied problems, 1993. – 132 pp. 7. **Denisov A.A., Kolesnikov D.N.** Theory of large control systems: A textbook for universities – L.: Energoizdat, 1982. – 288 pp. 8. **Beshlev S.D., Gurvich F.G.** Expert assessments – M.: "Science", 1973. – 160 p. 9. **Ganin S.M., Karpenko A.V., Zhiznevsky V.I., Fedotov G.V.** Anti-aircraft missile system S-300 / Ed. A.G. Magritsky. – St. Petersburg: "Gangut", Nevsky Bastion, vol. 3, 1977. – 72 p.

**Олександр Олександрович Лаврут** (доктор технічних наук, доцент)<sup>1</sup>

**Тетяна Валеріївна Лаврут** (кандидат географічних наук, доцент)<sup>1</sup>

**Юрій Миколайович Здоренко** (кандидат технічних наук)<sup>2</sup>

**Владислав Олександрович Колесник**<sup>1</sup>

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

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

## МОДЕЛЬ ТА МЕТОД УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНИМИ ПОТОКАМИ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІЙ МЕРЕЖІ ТАКТИЧНОЇ ЛАНКИ УПРАВЛІННЯ

Проводиться огляд та аналіз тенденцій розвитку і застосування новітніх технологій та засобів зв'язку в підрозділах тактичної ланки управління Збройних Сил України. Показано, що в державі ведеться робота щодо створення ефективної системи оперативного управління, зв'язку, розвідки та спостереження (C4ISR), яка б відповідала вимогам НАТО. Технологічно основою для реалізації даної системи повинна стати єдина автоматизована система Збройних Сил України. Зазначається, що проблемним питанням постає необхідність розробки нових технологічних рішень управління мережевими ресурсами із забезпеченням їх збалансованого завантаження та гарантованої якості обслуговування різномірних трафіків у такій системі. Проводиться аналіз існуючих моделей вирішення основних мережових задач. Показано, що тензорний підхід дозволяє вирішувати проблеми які з'являються під час урахування взаємопов'язаних і одночасно суперечливих вимог, які виникають під час управління різномірним трафіком у військовій телекомунікаційній мережі. Розроблено модель та метод багатошляхової маршрутизації передачі команд управління між різними вузлами (елементами) інформаційно-телекомунікаційної мережі з урахуванням потокового характеру трафіка. Наведено результати розрахунків мережі за допомогою розроблених моделі та методу. Проведена порівняльна оцінка розробленої моделі з відомими.

**Ключові слова:** телекомунікаційна мережа, інформаційний обмін, багатошляхова маршрутизація, управління трафіком, тактична ланка управління, тензорний аналіз мереж, мережецентричний принцип, єдине інформаційне поле.

### Вступ

Відмінною рисою розвитку сучасної системи зв'язку і автоматизації управління Збройних Сил України є стійка тенденція до переоснащення та модернізації військ зв'язку новітніми високотехнологічними засобами зв'язку та перехід на сучасні цифрові технології. Даний напрям розвитку визначений як пріоритетний «Візією Генерального штабу ЗС України щодо розвитку Збройних Сил України на найближчі 10 років» [1]. Сьогодні керівництвом ЗС України велика увага приділяється розвитку та вдосконаленню стаціонарної та польової компоненти системи зв'язку та автоматизації управління всіх ланок управління, що відповідає реалізації положень Стратегічного оборонного бюлетеня України [2], а саме: створення ефективної системи оперативного управління, зв'язку, розвідки та спостереження (C4ISR), яка б відповідала стандартам НАТО, та забезпечення її інтеграції з Єдиною системою управління оборонними ресурсами (Defense resources management information system) [1-8].

**Постановка проблеми.** Виходячи з цього інформаційно-телекомунікаційна мережа військового призначення (ІТМ ВП) може розглядатись як складна організаційно-технічну

система. На сучасному етапі до числа основних факторів складності ІТМ ВП необхідно віднести: оновлення технічної оснащеності, багатоаспектність, високу розмірність системи в цілому і різномірність її окремих елементів та підсистем, збільшення динаміки виконання функціональних задач, стохастичність процесів інформаційного обміну, що протікають у ІТМ ВП, мультисервісність, зростання об'єму та різноманітності даних, які циркулюють між споживачами інформації, взаємодію ІТМ ВП з іншими складними інформаційно-аналітичними та автоматизованими системами управління, а також наявність впливу зовнішніх, як правило нестабільних, факторів. В подібній організаційно-технічній системі задачі оптимізації різного рівня складності безперервно виникають і повинні оперативно вирішуватись.

В теорії управління інформаційними потоками в ІТМ ВП накопичено значний досвід. Розгляду питань управління мережами зв'язку присвячували свої наукові роботи велика кількість сучасних вітчизняних та закордонних вчених, серед яких Л. Клейнрок [9], Д. Бертсекас, Р. Галлагер [10], Г.А. Кучук [11], О.В. Лемешко [12, 13] та ін.

Однак, не дивлячись на це, підвищені вимоги

до ІТМ ВП, стрімкий ріст інфокомунікацій та розвиток технічних засобів їх забезпечення сприяють тому, що задача управління процесом інформаційного обміну у військових інформаційно-телекомунікаційних мережах постійно та суттєво видозмінюється через необхідність одночасного врахування багатьох факторів. Відповідно відкритим залишається і питання побудови адекватних математичних моделей та методів управління інформаційною взаємодією в ІТМ ВП між виділеними в ній сегментами.

Аналіз показав, що в рамках передових концепцій мережевого управління визначені лише загальні підходи до усунення обмежень існуючих протокольних рішень з управління мережевими ресурсами, пов'язані з комплексним розв'язанням задач багатошляхової маршрутизації та забезпечення якості обслуговування різнотипних трафіків користувачів одночасно за рядом швидкісних та ймовірно-часових показників QoS. Детальний огляд існуючих підходів математичного опису процесів управління мережевими ресурсами, свідчить, що під час вирішення маршрутних задач коректно математично описати процеси динаміки стану (зміни структури під час бою), врахувати мультисервісність і гарантовано забезпечити якості зв'язку класичними методами практично неможливо. Питання оцінки якості управління різнорідними потоками інформації в мультисервісних мережах також залишається складним [12-15].

З огляду на це, з точки зору практики, постає питання необхідності пошуку нових технологічних рішень управління мережевими ресурсами із забезпеченням їх збалансованого завантаження і гарантованої якості обслуговування різнорідних трафіків у мультисервісних ІТМ ВП. Такі рішення з управління інформаційним обміном в ІТМ ВП повинні базуватися на моделях і методах управління потоками даних, здатних забезпечити ефективне використання мережевого ресурсу. Це визначає необхідність удосконалення інфокомунікаційних систем в частині управління потоками даних на нових технологічних і теоретичних принципах, які використовують сучасний математичний апарат. Тобто існує потреба в розробці моделей та методів управління інформаційними потоками в ІТМ ВП.

**Метою статті** є розробка моделі та методу управління інформаційними потоками у телекомунікаційній мережі тактичної ланки управління за допомогою використання тензорного підходу для забезпечення вимог щодо оперативності та якості обміну інформацією в інформаційно-телекомунікаційних мережах військового призначення.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Сьогодні при моделюванні ІТМ ВП і вирішенні основних мережевих задач застосовуються підходи, що базуються на використанні графових моделей і комбінаторних методів розрахунку, поточкових моделей і методів аналізу мереж, моделей конфліктних систем, нейронних мереж,

апарату продукуваних функцій, теорії масового обслуговування, моделей на основі нечіткої логіки, мереж Петрі, теоретико-ігрових моделей, а також апарату марківських керуваних випадкових процесів та інтегрально-диференціальних рівнянь стану, де задачі функціонального та структурного синтезу зазвичай вирішуються незалежно, як правило, визначаючи один для одного вихідні дані, прийняті як допущення й обмеження. Так, моделі і методи, що орієнтовані на забезпечення QoS, не дозволяють повною мірою описати процеси балансування навантаження в ІТМ ВП. І навпаки, при спробі забезпечити врахування QoS, в моделях, що адекватно описують розв'язання задач балансування навантаження, обчислювальна складність істотно підвищується. Тобто, такі моделі не дозволяють забезпечити цілісне врахування найважливіших факторів, які істотно впливають на якісне вирішення задач управління інформаційним обміном між елементами ІТМ ВП [11-18].

З точки зору багатоаспектного розгляду математично точно описати телекомунікаційну систему як цілісний об'єкт, базуючись на тому, що теорія дослідження ІТМ ВП повинна бути інваріантна до способу опису його внутрішньої структури, можливо за допомогою певного каркаса, який дозволить стикувати моделі, отримані під час розгляду різних аспектів однієї системи [12-15, 19].

Тензорний підхід до моделювання складних систем найбільш повно відповідає вимогам системотехнічних принципів та постулатів. Він дозволяє вирішувати проблеми, що стосуються урахування взаємопов'язаних і одночасно суперечливих вимог, які виникають (висуваються) під час управління інформаційним обміном в ІТМ ВП [12-15, 19, 20]. Даний підхід повинен включати комплекс моделей та методів, що забезпечать ефективне управління мережевими ресурсами.

Тензорний аналіз дозволяє забезпечити граничну цілісність під час математичного опису і дослідження ІТМ ВП, що досягається завдяки багатоаспектній природі математичних моделей, які отримуються на її основі. Системні властивості ІТМ ВП можна дослідити, спираючись на тензорну модель системи, незалежно від можливих координатних систем її розгляду. За необхідності, аналізуючи систему з різних аспектів розгляду, можна отримати необхідну інтерпретацію тензорної моделі шляхом проєкції тензорів, які утворюють дану модель, в ту чи іншу систему координат. У такому випадку, рівняння поведінки ІТМ ВП набувають векторно-матричної форми, при чому кожній частковій системі координат відповідає свій аспект розгляду.

Модель багатошляхової маршрутизації передачі команд управління між різними вузлами (елементами) інформаційно-телекомунікаційної мережі з урахуванням потокового характеру трафіка

Основною вимогою до функціонального опису ІТМ ВП є обов'язковий облік при моделюванні параметрів і характеристик, за якими оцінюється якість обслуговування того чи іншого користувача трафіку телекомунікаційної системи:

- інтенсивності трафіку;
- номінальної, середньої і максимальної довжини пакета;
- середньої затримки пакетів;
- джиттера (варіації затримки), що оцінюється через середньоквадратичне відхилення або дисперсію середньої затримки передачі пакетів;
- ймовірності правильної доставки пакетів;
- ймовірності своєчасної доставки пакетів;
- коефіцієнта готовності мережі (шляху передачі).

Під час обслуговування мережею агрегованого потоку з постійною довжиною переданих пакетів (команди управління) в основу функціонального опису ІТМ ВП може бути покладено рівняння поведінки окремо взятого елемента системи, отримане моделюванням кожної гілки мережі системою масового обслуговування типу М/М/1 – одноканальною моделлю з пуассоновським потоком заявок і показовим законом розподілу часу обслуговування [12-15]:

$$\tau = \frac{h}{\varphi - d} \quad (i = \overline{1, n}), \quad (1)$$

в якому  $\varphi$  – пропускна здатність модельованого тракту передачі, яка вимірюється в байт/с,  $d = \lambda h$  – інтенсивність трафіку, що передається (байт/с),  $\lambda$  – пакетна інтенсивність трафіку (1/с),  $h$  – середня довжина пакета (байт) і  $\tau$  – середня затримка передачі пакета (с) в цьому тракту.

Слід зазначити, що вираз (1) є сумою наступних двох доданків: часу передачі пакета (повідомлення, кадра та ін.)

$$\tau_{\text{прд}} = \frac{h}{\varphi}, \quad (2)$$

і часу очікування в черзі

$$\tau_{\text{ож}} = \frac{d h}{\varphi(\varphi - d)}. \quad (3)$$

Окрім цього, величина  $\varphi$  може характеризувати не номінальну, а зарезервовану пропускну здатність тракту для обслуговування конкретного трафіку або агрегованого потоку.

Під багатоаспектністю розгляду системи будемо розуміти наявність нескінченної множини її поділу на елементи, а цілісність системи – наявність між різними її поданнями певного взаємозв'язку. В якості прикладу поділу ІТМ ВП на елементи візьмемо її опис як множин вузлів і трактів передачі. При цьому декомпозицію системи можна проводити більш детально, зокрема до БМП, танка, окремого військовослужбовця або складових апаратного зв'язку. Тобто, нумерація елементів у системі відповідатиме її різним складовим [14].

Для подальшого опису структури і моделювання в рамках дослідження було взято за основу фрагмент телекомунікаційної мережі тактичної ланки управління (ТМ ТЛУ) (рис. 1) та проведено його геометризацию (рис. 2).

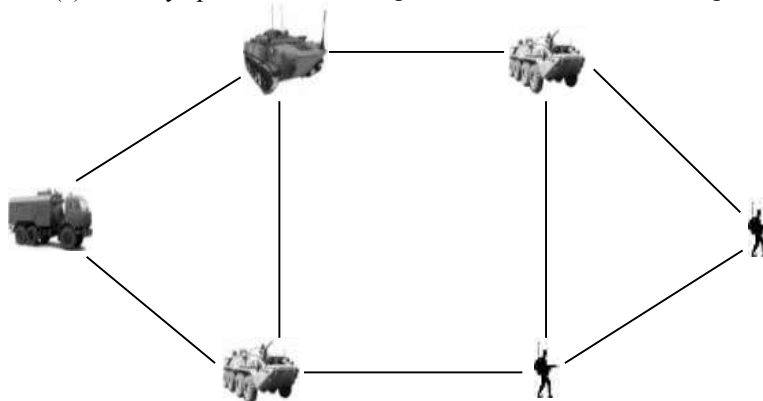


Рис. 1 Фрагмент телекомунікаційної мережі тактичної ланки управління

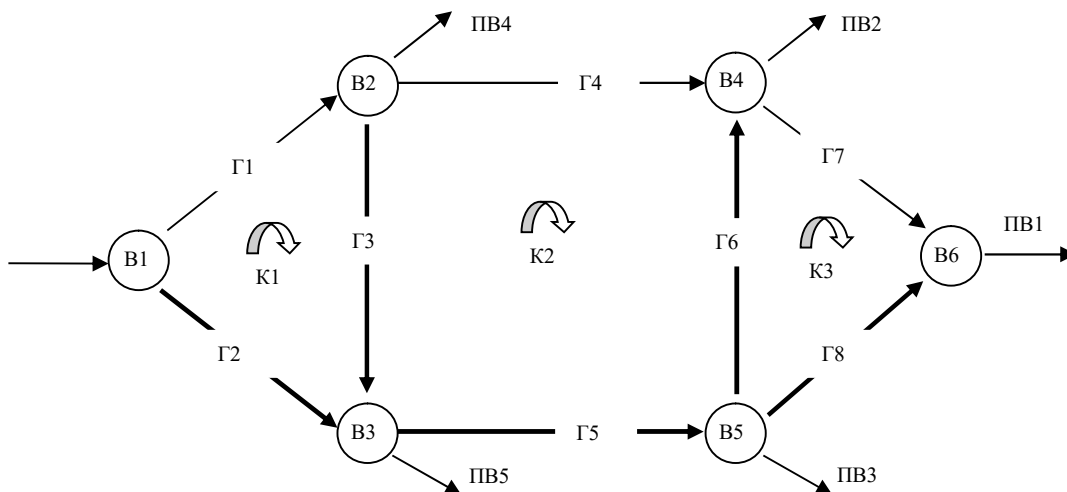


Рис. 2 Геометризація фрагменту телекомунікаційної мережі тактичної ланки управління

Топологічний опис даного фрагменту мережі здійснювався шляхом подання її структури одновимірним сімпліціальним комплексом, в якому множина нуль вимірних симплексів моделює вузли мережі, а множина одновимірних симплексів – лінії зв'язку. Елементи В1-В6 (у даному випадку) – командні пункти, окремі підрозділи, військовослужбовці.

За основу було взято процес передачі повідомлення (команди управління) між двома вузлами. В запропонованій мережі для розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації доставки команди управління пропонується тензорний підхід.

Виходячи з того, що об'єктом тензорного аналізу є дискретні простори, що складаються сукупністю розімкнених і замкнених шляхів (контурів і пар вузлів), при моделюванні будемо розглядати анізотропний простір-структуру. Припустимо, що В1-В6 – множина вузлів (рис. 2), Г1-Г8 – множина гілок, що моделює тракти передачі. Розмірність такого простору (структурний інваріант) визначається кількістю гілок (окремих трактів передачі) у мережі  $n$ . У зв'язку з цим множина структур, що відповідає окремим варіантам з'єднань  $n$  гілок, трактується як множина часткових систем координат у введеному  $n$ -мірному просторі. Перетворення ж структури мережі зі збереженням початкової кількості гілок або перехід від однієї сукупності незалежних шляхів до іншої трактується як перетворення системи координат. Тобто, кожен шлях через свою незалежність визначає в рамках розглянутого простору-структури координатну вісь. Орієнтація вузлових пар і контурів при цьому задається в загальному випадку довільно [14].

Під час багатоаспектного опису системи в  $n$ -мірному просторі-структурі можливий розгляд декількох систем координат (СК). Основною вимогою під час вибору цих СК є їх інформативність. Інакше кажучи в них мають бути відомі проекції різних компонент тензора  $R$ , чи ті, що треба знайти, базуючись на яких, можна розрахувати необхідні компоненти в тій чи іншій системі координат.

Розглянемо дві системи координат. Перша система координат – гілки мережі. В ній структура відповідає окремими не з'єднаними між собою гілками. Друга – система координат незалежних контурів і пар вузлів (КПВ) мережі, яка відповідає реальній структурі системи, що моделюється. Такий вибір системи координат зумовлений тим, що в СК гілок мережі необхідно розрахувати невідомі величини: інформаційне завантаження і величини затримок у кожному тракті передачі системи. У системі координат незалежних контурів і пар вузлів проекції тензорів визначають вихідні дані для розв'язання розрахункових задач, наприклад, довжину повідомлень і (або) затримку їх передачі [14].

Шляхи ПВ1-ПВ5 і К1-К3 визначають у  $n$ -мірному просторі базис системи координат, який відповідає структурі мережі (рис. 2). Через цей

базис можна виразити будь-який інший шлях мережі, при чому алгебраїчною сумою шляхів буде шлях, який проходить вздовж всіх доданків суми відповідно до їх орієнтації. Наприклад, шлях з В1 у В2 можна подати у вигляді алгебраїчної суми шляхів К1 та ПВ4 [14].

Зміна порядку з'єднання гілок мережі (рис. 2) визначає кінцевий набір структур у загальному випадку: кожен з інваріантом є кількістю гілок, а кількість незалежних пар вузлів і контурів може змінюватися.

Структура наведеної мережі визначає простір. Його розмірність відповідає кількості гілок мережі. Системою координат при цьому є множина базисних контурів та вузлових пар мережі.

Для опису мережі візьмемо два параметри: довжини повідомлень і час їх передачі. У введеному просторі (рис. 2) проведемо тензорний опис системи за допомогою одновалентного тензора довжин повідомлень  $S$  з компонентами  $s^i$ , одновалентного тензора затримок передачі  $T$  з компонентами  $t_j$ , а також тензора другої валентності  $R$ , координати якого розраховуються згідно з виразом  $r_j^i = s^i t_j$ ,  $(i, j = \overline{1, n})$ , а у прямому позначенні  $R = S \otimes T$  [12 - 14].

В такому випадку кожній структурі мережі відповідає своя кількість координат, при цьому набір координатних шляхів завжди дорівнює кількості гілок [12 - 14].

Скористаємось законами координатного перетворення:

$$S = CS' \text{ та } T = AT', \quad (4)$$

за умови виконання ортогональності

$$C^t = [A]^{-1} \quad (5)$$

Контраваріантний характер мають параметри мережі, які при переході від однієї СК до іншої підпорядковуються умовам збереження потоку, наприклад, інтенсивність трафіку, довжина пакету тощо. Коваріантний характер мають адитивні метрики, наприклад, середня затримка, джитер, вартість тощо. Прийнято коваріантні тензори позначати нижніми індексами, а контраваріантні – верхніми.

Взаємозв'язок контраваріантних і коваріантних компонентів тензора формалізуємо у прямому записі:

$$T = GS; S = MT, \quad (6)$$

де  $M = [G]^{-1}$ .

Тобто, тензор відображає інваріантний геометричний об'єкт, координати якого змінюються за лінійним законом під час перетворення системи координат.

Відповідно до фізики процесів (2) інформаційного обміну в мережі компоненти  $s^i_\Gamma$  і  $t^i_\Gamma$  векторів  $S_\Gamma$  і  $T_\Gamma$  пов'язані наступним співвідношенням:

$$s^i_\Gamma = m^{ii}_\Gamma t^i_\Gamma \quad (i = \overline{1, n}), \quad (7)$$

де  $m^{ii}_\Gamma$  – частина пропускнуої спроможності  $i$ -ї гілки мережі.



Функціональним інваріантом запропонованої моделі, відповідно до постулату другого узагальнення Г. Крона [19], виступає тензорне рівняння, яке одержане в результаті узагальнення рівняння (7) і зберігає свою форму незмінною незалежно від координатної системи розгляду мережі:

$$S = MT \quad (8)$$

де  $M$  – тензор пропускних спроможностей координатних шляхів мережі, проекції якого в окремій частковій системі координат має вигляд матриці розмірністю  $n \times n$ .

Розглянувши вираз (8), дійдемо висновку, що тензор  $M$  є двічі контраваріантним метричним тензором, а його проекції при зміні координатної системи перетворюються як:

$$M_{\Gamma} = CM_{к.п.в}C^t \text{ та } M_{к.п.в} = A^t M_{\Gamma} A, \quad (9)$$

де  $M_{\Gamma}$ ,  $M_{к.п.в}$  – проекції тензора  $M$  в системах координат гілок мережі та незалежних контурів і вузлових пар.

Як зазначалося вище, форма запису рівнянь поведінки мережі в цілому повинна відповідати рівнянню поведінки окремих елементів (постулат першого узагальнення Г. Крона) [19], що обумовлює заміну системи скалярних рівнянь рівняннями векторно-матричного виду. Відповідно до цього, залишається незмінним в системі координат незалежних контурів і пар вузлів вигляд функціонального рівняння мережі:

$$S_{к.п.в} = M_{к.п.в} T_{к.п.в} \quad (10)$$

Для забезпечення існування шуканих рішень та однозначної їх інтерпретації, матричне рівняння (10) повинно бути системою з  $n$  скалярних рівнянь з  $n$  невідомими. Оскільки характер розв'язуваної задачі з розрахунку шуканих параметрів має істотне значення,  $n$  невідомих можуть довільно перерозподілятися між складовими векторів  $S_{к.п.в}$  та  $T_{к.п.в}$ .

Таким чином, запропонована модель дозволяє однозначно враховувати як структурні, так і функціональні параметри системи. При цьому цілісність її розгляду зберігається.

Як показує досвід, при побудові сучасних ІТМ військового призначення необхідно враховувати різні моделі трафіка. Тому, розроблена модель багатошляхової маршрутизації передачі команди управління в однопродуктивній двополусній мережі тактичної ланки управління, як поодинокого повідомлення не є достатньою.

Для формалізації потокового характеру трафіка попередня модель мережі буде доповнена. Під час розгляду функціональної сторони моделі фрагменту ТМ ТЛУ поряд із вже відомими параметрами трафіка (початковий розмір пакета (повідомлення)  $s$  і час його передачі  $t$ ) будуть прийняті також до уваги ряд додаткових параметрів – бітова інтенсивність надходження пакетів  $z$ , вимірювана, наприклад, у байт/с; пакетна інтенсивність трафіка  $u$ , вимірювана в пакетах/с. Таким чином, у введеному  $n$ -мірному просторі проведемо тензорну інтерпретацію мережі за допомогою одновалентного тензора

величин бітової інтенсивності трафіка  $Z$  з компонентами  $z^m$ , одновалентного тензора величин пакетів (фрагментів)  $S$  з компонентами  $s^i$ , одновалентного тензора затримок передачі  $T$  з компонентами  $t_j$ , а також тензора третьої валентності  $R$ , двічі контраваріантного й один раз коваріантного, координати якого розраховуються, виходячи з виразу:

$$r_j^{im} = z^m s^i t_j, \quad (m, i, j = \overline{1, n}), \quad (11)$$

де  $z^m$  – бітова інтенсивність трафіка, що передається по  $m$ -му координатному шляху, вимірювана в байт/с;

$s^i$  – величина пакета (фрагмента), переданого через  $i$ -й координатний шлях, вимірювана в байтах;

$t_j$  – затримка передачі пакета (фрагмента) в  $j$ -му координатному шляху, вимірювана в секундах.

Кожній структурі мережі відповідає свій набір координат (11). У прямому позначенні вираз (11) приймає вигляд  $R = Z \otimes S \otimes T$ .

Також візьмемо до уваги наступну залежність:

$$z_{\Gamma}^i = u_{\Gamma}^i s_{\Gamma}^i \quad (i = \overline{1, n}) \quad (12)$$

де  $u_{\Gamma}^i$  – пакетна інтенсивність трафіка, тобто кількість пакетів за секунду, що передається по  $i$ -й гілці мережі.

Важливо зазначити, що при фрагментації пакетів у вузлі з розподілом його фрагментів по вихідних гілках пакетна інтенсивність трафіка залишається постійною, тоді як бітова інтенсивність ( $z_{\Gamma}^i$ ) змінюється.

Як і в попередній моделі, до уваги беруться дві системи координат. Перша – система координат гілок мережі, що відповідає структурі окремих несполучених між собою трактів системи, а друга – координати пар вузлів і незалежних контурів мережі, що відповідає реальній структурі системи, яка розглядається. У системі координат незалежних контурів і пар вузлів проекції тензорів  $Z$ ,  $S$  і  $T$  знаходять необхідні вихідні дані для розв'язання наступних задач, а саме: початковий розмір пакетів у трафіку, величину користувальницького трафіка та міжкінцеву затримку передачі.

Контраваріантний закон перетворення тензора  $Z$  формалізуємо за допомогою співвідношення  $Z_{\Gamma} = CZ_{к.п.в}$ , де  $Z_{\Gamma}$ ,  $Z_{к.п.в}$  – проекції одновалентного тензора інтенсивностей трафіка  $Z$ , що мають розмірності  $n$  у введених раніше координатних системах гілок мережі, а також незалежних контурів і пар вузлів [14].

У свою чергу, вектори  $Z_{\Gamma}$  і  $Z_{к.п.в}$  мають складові:

$$Z_{\Gamma} = \begin{bmatrix} z_{\Gamma}^1 \\ z_{\Gamma}^i \\ z_{\Gamma}^n \end{bmatrix}; \quad Z_{к.п.в} = \begin{bmatrix} Z_{к.п.в}^k \\ Z_{к.п.в}^s \end{bmatrix}; \quad Z_{к} = \begin{bmatrix} z_{к}^1 \\ z_{к}^j \\ z_{к}^r \end{bmatrix}; \quad Z_{п.в} = \begin{bmatrix} z_{п.в}^1 \\ z_{п.в}^p \\ z_{п.в}^s \end{bmatrix},$$

де  $z_{\Gamma}^i$  – бітова інтенсивність трафіка, яка передається  $i$ -ю гілкою мережі;

$Z_{к}$ ,  $Z_{п.в}$  – вектори величин трафіка, що протікає в контурах мережі і надходить на її вузли розмірностей  $r$  та  $s$  відповідно;

$z_k^j$  – бітова інтенсивність трафіка в  $j$ -му контурі мережі;

$z_{п.в.}^p$  – бітова інтенсивність зовнішнього трафіка, що надходить у мережу та вибуває з неї через  $p$ -ту пару вузлів (поліосів) мережі.

В якості функціонального інваріанту запропонованої моделі можна розглядати тензорні рівняння, які отримані шляхом узагальнення рівняння (12) та, незалежно від координатної системи розгляду мережі, зберігають свою форму незмінною:

$$Z = U S, \quad (13)$$

де  $U$  – двовалентний змішаний тензор пакетної інтенсивності трафіка, проекції якого у довільній системі координат мають вигляд матриці розміру  $n \times n$ .

Слід зазначити, що в координатній системі гілок тензор  $U$  має вигляд діагональної матриці.

Вихідними даними для синтезу методу виступають величини доступних пропускних спроможностей окремих гілок мережі, подані у вигляді діагональних елементів матриці  $M_{г.}$ . Необхідні параметри якості обслуговування інформаційного трафіка – задана бітова інтенсивність ( $z_{зад.}$ ), вихідна величина пакета ( $s_{вих.}$ ) і задана затримка передачі ( $t_{зад.}$ ). Результатом роботи методу є розрахунок координат матриці  $M_{г.}$ , що визначає порядок резервування мінімально необхідної величини пропускної спроможності гілок мережі під час розподілу по них інформаційного трафіка. Тоді, відповідно до виразу:

$$\begin{bmatrix} S_k \\ S_{п.в.} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{к.п.в.}^{(1)} & M_{к.п.в.}^{(2)} \\ M_{к.п.в.}^{(3)} & M_{к.п.в.}^{(4)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_k \\ T_{п.в.} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

де  $\begin{bmatrix} M_{к.п.в.}^{(1)} & M_{к.п.в.}^{(2)} \\ M_{к.п.в.}^{(3)} & M_{к.п.в.}^{(4)} \end{bmatrix} = M_{к.п.в.}$

має місце співвідношення

$$S_{п.в.} = M_{к.п.в.}^{(3)} T_k + M_{к.п.в.}^{(4)} T_{п.в.} \quad (15)$$

Рівність нулю першого доданка через виконання умови  $T_k=0$  перетворить вираз (15) до вигляду:

$$\begin{bmatrix} S_{п.в.}^{(1)} \\ S_{п.в.}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{к.п.в.}^{(4,1)} & M_{к.п.в.}^{(4,2)} \\ M_{к.п.в.}^{(4,3)} & M_{к.п.в.}^{(4,4)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_{п.в.}^{(1)} \\ T_{п.в.}^{(2)} \end{bmatrix} \quad (16)$$

де  $\begin{bmatrix} S_{п.в.}^{(1)} \\ S_{п.в.}^{(2)} \end{bmatrix} = S_{п.в.}$ ;  $\begin{bmatrix} M_{к.п.в.}^{(4,1)} & M_{к.п.в.}^{(4,2)} \\ M_{к.п.в.}^{(4,3)} & M_{к.п.в.}^{(4,4)} \end{bmatrix} = M_{к.п.в.}^{(4)}$ ;  $\begin{bmatrix} T_{п.в.}^{(1)} \\ T_{п.в.}^{(2)} \end{bmatrix} = T_{п.в.}$ .

У виразі (16) компоненти вектора  $S_{п.в.}$  початково відомі, при цьому перший компонент  $S_{п.в.}^{(1)}$  належить до поліосів мережі, тобто вузлів, через які трафік надходить у мережу або вибуває з неї. Другий компонент  $S_{п.в.}^{(2)}$  має відношення до вузлів мережі, що залишилися. Відповідно, зовнішній трафік через ці вузли з причини

двополюсності мережі за визначенням дорівнює нулю.

Компоненти вектора  $T_{п.в.}$  за умовами задачі частково відомі – вектор  $T_{п.в.}^{(1)}$ , що визначає вимоги до граничної затримки передачі пакета, а частково невідомі – вектор  $T_{п.в.}^{(2)}$ . Компоненти матриці  $M_{к.п.в.}^{(4)}$  необхідно розрахувати.

Виходячи з виразу (16), можна одержати систему двох матричних рівнянь

$$S_{п.в.}^{(1)} = M_{к.п.в.}^{(4,1)} T_{п.в.}^{(1)} + M_{к.п.в.}^{(4,2)} T_{п.в.}^{(2)} \quad (17)$$

$$S_{п.в.}^{(2)} = M_{к.п.в.}^{(4,3)} T_{п.в.}^{(1)} + M_{к.п.в.}^{(4,4)} T_{п.в.}^{(2)} \quad (18)$$

Рівність нулю вектору  $S_{п.в.}^{(2)}$ , дозволяє з рівняння (18) одержати вираз для розрахунку вектору  $T_{п.в.}^{(2)}$ :

$$T_{п.в.}^{(2)} = -[M_{к.п.в.}^{(4,4)}]^{-1} M_{к.п.в.}^{(4,3)} T_{п.в.}^{(1)},$$

підставляючи який в рівняння (17), одержуємо нерівність:

$$S_{п.в.}^{(1)} \leq \left( M_{к.п.в.}^{(4,1)} - M_{к.п.в.}^{(4,2)} [M_{к.п.в.}^{(4,4)}]^{-1} M_{к.п.в.}^{(4,3)} \right) T_{п.в.}^{(1)} \quad (19)$$

Якщо в процесі розв'язання задачі на етапі побудови моделі і формування вектору  $S_{п.в.}$  як опорний вузол вибрати один з поліосів мережі, то розмірність вектору  $S_{п.в.}^{(1)}$ , дорівнюватиме одиниці. Це дозволяє у виразі (19) визначити:

$$S_{п.в.}^{(1)} = s_{вих.} \text{ та } T_{п.в.}^{(1)} = t_{зад.}$$

Виконання умов нерівності (19) гарантує відповідність вимогам, що стосуються величини затримки передачі пакетів у мережі. На основі отриманих вище результатів можна визначити наступну послідовність для розрахунку багатошляхової маршрутизації інформаційного трафіка з підтримкою вимог щодо гарантованої якості обслуговування [14].

По-перше, здійснюється попередня оцінка можливості прийняття до обслуговування мережею інформаційного трафіка із заданими параметрами якості. Оцінка здійснюється шляхом розрахунку мінімального часу багатошляхової передачі пакета заданої довжини з використанням усіх доступних мережевих ресурсів. У рамках запропонованої тензорної моделі через відомі вектори  $S_{п.в.}$  і  $T_k$ , відповідно, розраховується вектор  $T_{п.в.}^n$ :

$$T_{п.в.}^n = [M_{к.п.в.}^{(4)д}]^{-1} S_{п.в.} - [M_{к.п.в.}^{(4)д}]^{-1} M_{к.п.в.}^{(3)д} T_k.$$

За значеннями координат  $T_{п.в.}^n$  оцінюється мінімальна затримка передачі пакета заданої довжини. Також визначаються відповідні довжини пакетів (фрагментів) у кожній гілці мережі. Крім того, проводиться розрахунок для кожної гілки мережі величини максимальної пакетної інтенсивності  $u_i^г$ , яку вона може обслужити за відповідних значень довжини фрагмента  $s_i^г$  та максимальної бітової інтенсивності трафіка  $z_i^г$ , що, у свою чергу, не може перевищувати пропускну спроможність гілки  $m_i^г$ .

Під час розподілу трафіка, проводячи фрагментацію пакетів у вузлах, його пакетна інтенсивність залишається постійною, тобто

однаковою для всіх гілок, через які транспортується трафік мережею. Для запобігання перевантаження гілок мережі за максимально можливою пакетною інтенсивністю трафіка, що надходить у мережу, приймається мінімальне значення з множини величин пакетних інтенсивностей  $u_{i_r}^1$  у гілках мережі. За розрахованою пакетною інтенсивністю визначається максимально можлива величина бітової інтенсивності  $z$  (12), з якою трафік може обслуговуватися мережею.

Якщо оцінювана величина затримки пакета і бітова інтенсивність трафіка відповідають вимозі вихідних даних, то інформаційний трафік приймається мережею до обслуговування, у протилежному випадку – отримує відмову. У випадках, коли питання перевірки наявності доступних мережевих ресурсів не є гострим, оцінка можливості прийняття трафіка до обслуговування мережею може не проводитися, тобто перший етап методу може бути опущений.

По-друге, проводиться розрахунок величин пропускних спроможностей гілок мережі, що підлягають резервуванню шляхом визначення діагональних значень матриці  $M_r$ .

Розрахунок здійснюється відповідно до умови (19), але виходячи з того, що резервування мережевих ресурсів можна зробити, у загальному випадку, багатьма способами, формалізацію процедури резервування можна здійснити, наприклад, шляхом розв'язання такої оптимізаційної задачі. Необхідно мінімізувати вартість резервування мережевих ресурсів, значення якої виражене цільовою функцією:

$$P = Q^t M_r^{(\delta)} \quad (20)$$

де  $Q$  – вектор вагових (вартісних) коефіцієнтів розмірності  $n$ , координати  $\delta_i$  якого характеризують питому вартість резервування одиниці пропускної спроможності  $i$ -ї гілки мережі;

$M(\delta)_r$  – вектор величин зарезервованих пропускних спроможностей гілок мережі,  $n$  координат якого відповідають діагональним елементам матриці  $M_r$ , тобто:

$$M_r = \text{diag}(M_r^{(\delta)}) \quad (21)$$

Мінімізацію функції (20) необхідно проводити відповідно до обмежень (19), обмеженням

$$M_r \leq M_r^d \quad (22)$$

а також обмеженням

$$Z_r \leq M_r^{(\delta)} \quad (23)$$

які вводяться для запобігання перевантаження гілок мережі, тобто бітова інтенсивність трафіка в кожній з них не має перевищувати пропускної спроможності гілки, виділеної для обслуговування даного трафіка.

У системі координат гілок мережі вираз (13) набуває вигляду:

$$Z_r = U_r S_r,$$

де вектор  $S_r$  розраховується відповідно до залежності

$$S_r = C S_{k.p.v} \quad (24)$$

в якій відповідно

$$S_{k.p.v} = \begin{bmatrix} S_k \\ S_{п.в} \end{bmatrix} \text{ та } S_k = M_{k.p.v}^{(2)} [M_{k.p.v}^{(4)}]^{-1} S_{п.в} \quad (25)$$

З урахуванням (24) і (25) обмеження (23) набуває вигляду:

$$U_r C \begin{bmatrix} M_{k.p.v}^{(2)} [M_{k.p.v}^{(4)}]^{-1} S_{п.в} \\ S_{п.в} \end{bmatrix} \leq M_r^{(\delta)} \quad (26)$$

Розрахунок вектора  $M_r^{(\delta)}$  у рамках розв'язання сформульованої оптимізаційної задачі з цільовою функцією (20) й обмеженнями (19), (21), (22), (26) гарантує мінімальну вартість резервування необхідних мережевих ресурсів. Подібна постановка задачі характерна для задач структурного синтезу, зокрема для задачі вибору топології і пропускних спроможностей трактів мережі. У зв'язку з цим для її розв'язання можна застосовувати відомі методи: метод заміни гілок, метод усунення гілок, метод насиченого перетину, а також будь-які модифікації перерахованих методів.

У процесі розв'язання задачі також необхідно відслідковувати виконання умови:

$$s_r^i \geq s_{min}, (i = \overline{1, n}) \quad (27)$$

де  $s_{min}$  – мінімальна величина пакета, що не підлягає подальшій фрагментації при його передачі в мережі.

Таким чином, запропоновано модель багатошляхової маршрутизації команд управління із потоковою моделлю трафіка.

*Метод багатошляхової маршрутизації передачі команд управління між різними вузлами (елементами) інформаційно-телекомунікаційної мережі з урахуванням потокового характеру трафіка.*

На основі розробленої моделі пропонується метод вирішення задачі багатошляхової маршрутизації команд управління.

Переваги запропонованого методу демонструємо на прикладі розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації в мережі з потоковим характером трафіка та із забезпеченням наперед заданої величини затримки передачі пакетів. Для цього необхідно, по-перше, розрахувати величини пропускних спроможностей гілок, що підлягають резервуванню при обслуговуванні даного трафіка, а по-друге, визначити порядок його розподілу у вузлах мережі шляхом фрагментації (дефрагментації) пакетів.

Розглянемо метод вирішення задачі багатошляхової маршрутизації у ІТМ ВП з потоковим характером трафіку і фрагментацією пакетів у вузлах мережі. Як приклад, здійснимо розрахунок конкретної задачі багатошляхової маршрутизації ТМ ТЛУ, структура якого наведена топологічною моделлю (рис. 1).

*Вихідні дані:*

- структура ІТМ ВП;
- величини доступних пропускних спроможностей окремих гілок мережі, які подані у вигляді діагональних елементів матриці:

$$M_{\Gamma}^d = \begin{pmatrix} 15000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 17000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 9000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 12000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 19000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 14000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9000 \end{pmatrix};$$

- напрямок передачі із вказанням витока і стока в мережі;

- необхідні параметри якості обслуговування інформаційного трафіка – задана бітова інтенсивність  $z_{зад}=15000$  байт/с, вихідна величина пакета  $s_{вих.}=500$  байт і задана затримка передачі  $t_{зад} = 0,1$  с.

*Обмеження:* характерною рисою таких задач є наявність умови  $T_k=0$ , що накладається на контурні компоненти вектора  $T_{к.п.в}$ .

*Необхідно розрахувати:* порядок надання трафіка в узлах мережі з фрагментацією (дефрагментацією) пакетів з урахуванням стану ІТМ ВП, що передбачає знаходження вектора  $S_{\Gamma}$ .

Мінімально необхідні величини пропускної спроможності гілок мережі, які підлягають резервуванню під час розподілу по них даного у вигляді матриці  $M_{\Gamma}$ .

*Порядок розрахунку.* Структура містить вісім гілок ( $\Gamma 1-\Gamma 8$ ,  $n=8$ ) і шість вузлів ( $B1-B6$ ,  $m=6$ ). Розмірність простору-структури  $n$ , що розглядається, дорівнює восьми. В цій структурі кількість незв'язних підмереж дорівнює одиниці, кількість незалежних пар вузлів відповідає п'яти, а чисельність незалежних контурів дорівнює трем.

Координати коваріантних і контраваріантних тензорів пов'язані між собою у різних системах координат розгляду мережі в такий спосіб:

$$\begin{cases} t_{\Gamma}^1 = t_1^{к.п.в} + t_7^{к.п.в}; \\ t_{\Gamma}^2 = t_8^{к.п.в}; \\ t_{\Gamma}^3 = -t_7^{к.п.в} + t_8^{к.п.в}; \\ t_{\Gamma}^4 = t_2^{к.п.в} + t_5^{к.п.в} - t_7^{к.п.в}; \\ t_{\Gamma}^5 = t_6^{к.п.в} - t_8^{к.п.в}; \\ t_{\Gamma}^6 = t_5^{к.п.в} - t_6^{к.п.в}; \\ t_{\Gamma}^7 = t_3^{к.п.в} + t_4^{к.п.в} - t_5^{к.п.в}; \\ t_{\Gamma}^8 = t_4^{к.п.в} - t_6^{к.п.в}; \end{cases} \begin{cases} s_{\Gamma}^1 = s_{к.п.в}^1; \\ s_{\Gamma}^2 = s_{к.п.в}^1 + s_{к.п.в}^4 + s_{к.п.в}^5 + s_{к.п.в}^6 - s_{к.п.в}^7 + s_{к.п.в}^8; \\ s_{\Gamma}^3 = s_{к.п.в}^1 - s_{к.п.в}^2 - s_{к.п.в}^7 + s_{к.п.в}^8; \\ s_{\Gamma}^4 = s_{к.п.в}^2; \\ s_{\Gamma}^5 = s_{к.п.в}^2 + s_{к.п.в}^4 + s_{к.п.в}^5 + s_{к.п.в}^6; \\ s_{\Gamma}^6 = s_{к.п.в}^2 + s_{к.п.в}^3 + s_{к.п.в}^5; \\ s_{\Gamma}^7 = s_{к.п.в}^3; \\ s_{\Gamma}^8 = -s_{к.п.в}^3 + s_{к.п.в}^4. \end{cases}$$

Таким чином, матриці коваріантного і контраваріантного перетворення  $A$  і  $C$  мають наступний вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Відповідно до значень матриць  $A$  і  $C$  виконання умови їх ортогональності підтверджує тензорний

характер величин  $Z$ ,  $S$  та  $T$ , а також різнотипність законів їх координатного перетворення.

У рамках доступних ресурсів затримка передачі пакета вихідної довжини (500 байт) складе 0,03 с, пакетна інтенсивність трафіка в другій гілці визначить максимально можливе значення пакетної інтенсивності на вході в мережу (32 пакета/с). Відповідно до виразу (12) максимальна бітова інтенсивність трафіка, що надходить у мережу, не має перевищувати 16000 байт/с. З урахуванням отриманих результатів попередніх розрахунків трафік може бути прийнятий мережею до обслуговування.

Розв'язок задачі наведений у вигляді матриці, що відповідає умовам (19), (21) – (23), (26), (27):

$$M_z = \begin{pmatrix} 10950 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 5460 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11730 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 7830 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 8040 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 11020 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 9100 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6930 \end{pmatrix},$$

Частина каналних ресурсів ( $M_{\Gamma}^t - M_{\Gamma}$ ), що залишилася невикористаною, може бути залучена для обслуговування інших інформаційних трафіків.

Тоді відповідно до виразів:

$$T_{п.в} = [M_{к.п.в}^{(4)}]^{-1} S_{п.в} - [M_{к.п.в}^{(4)}]^{-1} M_{к.п.в}^{(3)} T_{к};$$

$$S_{к} = M_{к.п.в}^{(1)} T_{к} + M_{к.п.в}^{(2)} T_{п.в}$$

$$T_{п.в}^t = [0,07 \ 0,049 \ 0,047 \ 0,021 \ 0,026];$$

$$S_{к}^t = [320,553 \ 248,048 \ 291,748].$$

Остаточне розв'язання задачі визначають розраховані з виразу  $S_{\Gamma} = C S_{к.п.в}$  компоненти вектора  $S_{\Gamma}$ , які характеризують величини фрагментів, що передаються у кожній гілці мережі:

$$S_{\Gamma}^t = [320,553 \ 179,447 \ 72,505 \ 248,048$$

$$251,952 \ 43,7 \ 291,748 \ 208,252].$$

Перша координата вектора  $T_{п.в}$  визначила мінімальну затримку передачі (0,07 с), з якою шляхом фрагментації (дефрагментації) пакет довжиною 500 байт буде переданий від першого вузла до шостого (рис. 3). Як перевірку виконаємо

розрахунок максимальної пакетної і бітової інтенсивності трафіка, з якими пакети можуть надходити в мережу. Відповідно до виразу (12) маємо:

$$U = \text{diag}(34,16 \ 30,43 \ 161,78$$

$$31,57 \ 31,91 \ 252,17 \ 31,19 \ 33,28).$$

Таким чином, за максимально можливою пакетну інтенсивність трафіка, що надходить у мережу, прийmemo величину 30 пакетів/с, що відповідає  $z = 15000$  байт/с за довжини пакета 500 байт. Подібний результат розв'язання задачі визначив для зовнішнього трафіка інтенсивністю 15000 байт/с і величиною пакета 500 байт наступний порядок його розподілу і фрагментації (дефрагментації) пакетів у вузлах мережі (рис. 3), реалізуючи тим самим багатошляхову стратегію маршрутизації. В системі Mathcad була створена імітаційна модель запропонованого методу. Результати моделювання та розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації показані на рис. 3.

На рис. 3 у кожному тракті зазначено напрямки передачі трафіка, розраховані величини – величина бітової інтенсивності трафіка (байт/с), довжина переданого пакета/фрагмента (байт), пакетна інтенсивність (пакетів/с) відповідно.

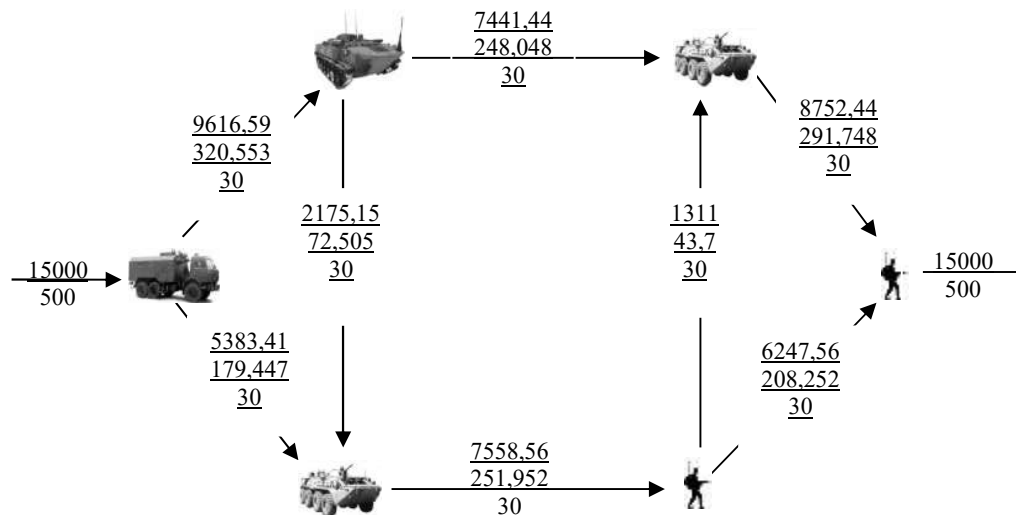


Рис. 3 Результати моделювання та розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації у фрагменті ІТМ ВП

Для транспортування пакетів трафіка в рамках отриманих розв'язань використовується чотири маршрути: перший (В1-В2-В4-В6), другий (В1-В2-В3-В5-В6), третій (В1-В2-В3-В5-В4-В6), четвертий (В1-В3-В5-В6).

Запропонований метод багатошляхової маршрутизації із потоковою моделлю трафіка, а також наведені приклади імітаційного моделювання при розв'язанні задачі багатошляхової маршрутизації команди управління на основі фрагменту ТМ ТЛУ свідчать про те, що тензорний підхід можна використовувати для розв'язання подібного роду задач з різним характером трафіка. На основі отриманих результатів можна проводити розрахунки задачі багатошляхової маршрутизації інформаційного трафіка із забезпеченням наперед

заданої величини затримки передачі пакетів, тобто з підтримкою вимог щодо гарантованої якості обслуговування. Адекватність запропонованих моделі і методу та доцільність їх реалізації доведена результатами розрахунку та імітаційного моделювання. В цілому блок-схема запропонованого методу подана на рис. 4.

Проведемо порівняння запропонованої моделі, з моделлю без фрагментації, закладеної, наприклад, у протокол IGRP, щодо забезпечення мінімальної затримки пакета. Оцінка проводилася за критерієм, який визначений у [21].

Як приклад, при оцінці запропонованої математичної моделі розв'яжемо задачу багатошляхової маршрутизації з контролем показників якості для фрагмент телекомунікаційної мережі (рис. 1).

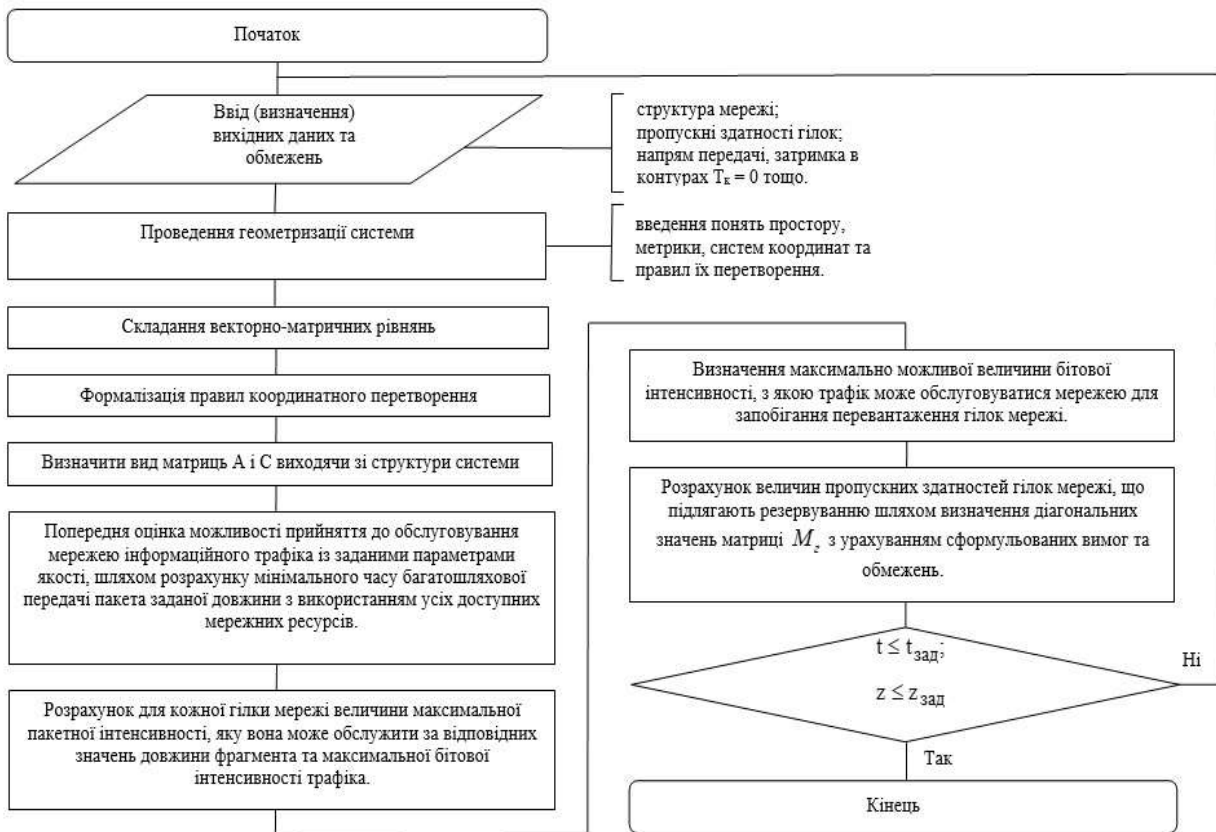


Рис. 4 Блок-схема запропонованого методу

В рамках структури представленій на рис. 1 розрахунки проводились за наступних вихідних даних: відправник – вузол 1, одержувач – вузол 6; параметри трафіка: величина бітової інтенсивності 200 1/с, а затримка передачі пакета  $t_{\text{зад}}=30$  мс.

Результати розрахунку мережі наведено на рис. 5. В розривах над гілками вказано (зверху до низу) пропускну здатність, інтенсивність трафіка,

що передається, та затримка передачі відповідно.

В ході розв'язання задачі вхідний трафік розподілювався за чотирма шляхами, при цьому перший шлях забезпечив обслуговування трафіка інтенсивністю 7,4 1/с, другий шлях – 1,3 (1/с), третій шлях – 1,1 (1/с) і четвертий шлях – 8,8 (1/с). Затримка передачі пакетів при цьому склала 21,1 мс вздовж кожного з маршрутів.

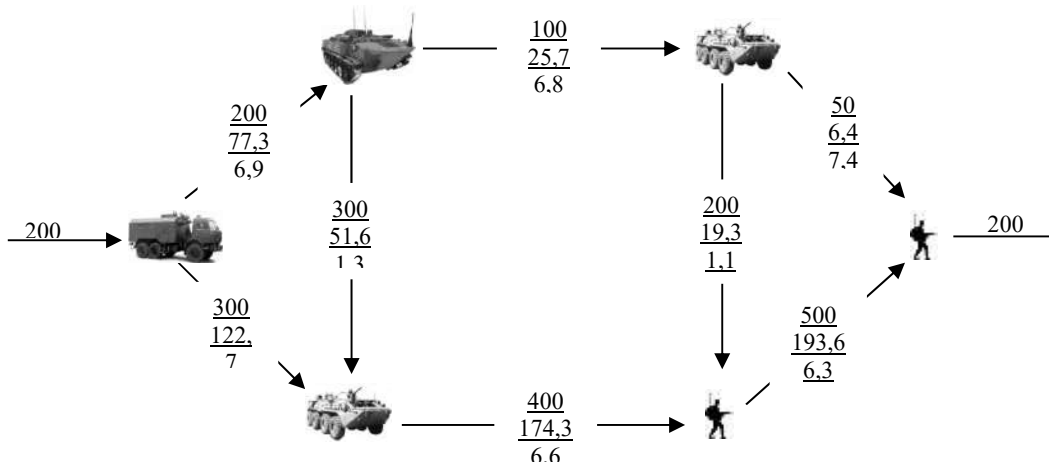


Рис. 5 Результати вирішення задачі багатопляхової маршрутизації

Результати розрахунків для двох основних стратегій маршрутизації – одношляхової та багатопляхової, наведено у таблиці 1. При одношляховій маршрутизації шлях обслуговування трафіка вибирається як найкоротший (результати подані вектором  $A_v^{\text{ош}}$ ). Під час розв'язання задачі багатопляхової

маршрутизації використовувалась запропонована модель ІТМ ВП (результати розрахунку наведені вектором  $A_v^{\text{бш}}$ ). Для розрахунків було обрано чотири варіанти параметрів трафіків і мережі. Якість прийнятих рішень оцінювалась за величиною затримки передачі пакетів трафіка  $t_{\text{прд}}$ .

Результати порівняльного аналізу різних стратегій маршрутизації

	Інтенсивність $\lambda_{звн}$ (1/с)											
	100			200			300			500		
	Проп. здатн.	$A_{\nu}^{бш}$	$A_{\nu}^{ош}$	Проп. здатн.	$A_{\nu}^{бш}$	$A_{\nu}^{ош}$	Проп. здатн.	$A_{\nu}^{бш}$	$A_{\nu}^{ош}$	Проп. здатн.	$A_{\nu}^{бш}$	$A_{\nu}^{ош}$
$\nu_1$	198	46,9	-	200	77,3	-	279	145	-	369	298	-
$\nu_2$	251	53,1	100	300	122,7	200	315	155	300	287	202	-
$\nu_3$	386	26,8	-	300	51,6	-	217	67	-	331	186	-
$\nu_4$	314	20,1	-	100	25,7	-	234	78	-	217	112	-
$\nu_5$	412	79,9	100	400	174,3	200	385	222	300	392	388	-
$\nu_6$	215	8,4	-	200	19,3	-	179	36	-	275	48	-
$\nu_7$	273	11,7	-	50	6,4	-	197	42	-	353	64	-
$\nu_8$	438	88,3	100	500	193,6	200	471	258	300	453	436	-
$t_{прд}$	-	11,2	12,7	-	21,1	78,13	-	18,4	122,6	-	27	-

Отримані результати дозволили зробити наступні висновки:

якщо інтенсивність зовнішнього трафіка невисока порівняно з пропускними здатностями мережі ( $\lambda_{звн} = 100$  1/с), то в рамках реалізації багатошляхової маршрутизації можна зменшити затримку в межах 12%;

при співмірних величинах необхідної та доступної пропускної здатності вираш багатошляхової маршрутизації складає від 73% ( $\lambda_{звн} = 200$  1/с) до 85% ( $\lambda_{звн} = 300$  1/с);

в умовах нестачі ресурсів ( $\lambda_{звн} = 500$  1/с) при реалізації одношляхової маршрутизації трафік отримав би відмову в обслуговуванні. Тобто обмеження вздовж жодного із шляхів мережі від вузла В1 до В6 не виконується. Однак, багатошляхова стратегія маршрутизації дала змогу в межах запропонованої моделі обслужити трафік із заданими показниками якості зв'язку ( $t_{зад} = 27$  мс);

розв'язання задачі багатошляхової маршрутизації стало можливим завдяки виконанню вимоги рівності нулю контурних затримок. За умови інтенсивності вхідного трафіка 200 (1/с) значення контурних затримок наступні:

$$t_1 = 6,9 + 1,3 - 8,2 = 0; \quad t_2 = 6,8 + 1,1 - 6,6 - 1,3 = 0;$$

$$t_3 = 1,1 + 6,3 - 7,4 = 0;$$

в межах отриманої моделі під час вирішення маршрутної задачі затримки пакетів вздовж незалежних шляхів в середньому дорівнювали між собою. Так, за інтенсивності вхідного трафіка 200 (1/с) (рис. 5) середні затримки під час передачі повідомлення від вузла 1 (відправник) до вузла 6 (отримувач) були однакові та дорівнювали  $t_{прд} = 21,1$  мс;

при вирішенні задачі багатошляхової маршрутизації з гарантованим забезпеченням якості обслуговування одночасно було враховано наступні основні показники: інтенсивність трафіка та середня затримка пакетів повідомлення. Результати розрахунків дали можливість визначити, що середня затримка пакетів вздовж кожного із шляхів не перевищувала заданого значення, а завантаження окремих трактів передачі не перевищувало значень їх пропускних

спроможностей, Тобто, вимоги, визначені критерієм [21], було повністю забезпечено з урахуванням обмежень (19), (23), (26).

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Інформаційно-телекомунікаційна мережа військового призначення (ІТМ ВП) є складною організаційно-технічною системою, а процеси управління мережевими ресурсами цієї системи вимагають пошуку нових підходів. Аналіз існуючих механізмів і технологій управління мережевими ресурсами показав, що більшість рішень в цій галузі ґрунтується на евристичних схемах або найпростіших комбінаторних і потокових моделях, які переважно не відповідають вимогам системного характеру. Використання подібних моделей при формалізації системних задач маршрутизації нерідко тягне за собою прийняття неадекватних рішень, що врешті рещт істотно знижує показники продуктивності і якості обслуговування.

Виникнення подібних проблем пов'язано з недосконалістю принципів побудови та алгоритмів функціонування телекомунікаційних технологій, що використовуються сьогодні. На практиці такий аспект проявляється недостатньою якістю управління потоками даних в ІТМ ВП, що призводить до неприпустимих затримок в процесі обміну інформацією між пунктами управління різних ланок управління ІТМ ВП.

Встановлено, що тензорний підхід до системного моделювання складних систем найбільш повно відповідає вимогам системотехнічних принципів і постулатів. Він дозволяє вирішувати проблеми які з'являються під час урахування взаємопов'язаних і одночасно суперечливих вимог, які виникають (висуваються) під час управління інформаційним обміном в ТМ ТЛУ (як складової частини ІТМ ВП).

В роботі розроблено модель та метод багатошляхової маршрутизації передачі команд управління між різними вузлами (елементами) ІТМ ВП на основі тензорного підходу, з урахуванням потокового характеру трафіка, що

дозволило для різних показників якості обслуговування сформулювати QoS-обмеження.

Модель, подана в евклідовому просторі і дозволяє одночасно враховувати як структурні, так і функціональні параметри системи за допомогою об'єднання можливостей диференційної геометрії з можливостями комбінаторної топології, зберігаючи цілісність розгляду самої системи. При цьому, при виборі шуканої координатної системи додатковим джерелом інформації є топологічний опис реальної системи. Показано, що при неможливіму безпосередньому розрахунку певних величин в одній системі координат, застосовуючи запропоновані модель та метод, існує можливість розрахувати їх при переході до іншої системи координат.

Наведено приклад моделювання вирішення задачі багатошляхової маршрутизації передачі

команди управління з використанням запропонованого методу. Розрахунки показали, що, за невисокої інтенсивності зовнішнього трафіка порівняно з доступними ресурсами (пропускними здатностями) мережі, реалізація багатошляхової маршрутизації дає можливість зменшити затримку в межах 12%, а при співмірних величинах необхідної та доступної пропускної здатності отримати вигоду, що складає від 73% до 85%.

Подальші дослідження необхідно спрямувати на узагальнення запропонованих моделі та методу на випадок передачі інформації циркулярно, а не лише між двома вузлами мережі. Окремим питанням залишається і забезпечення можливості одночасного розв'язання задач як розподілу ресурсів мережі між трафіками даних різних користувачів, так і розрахунку маршрутів.

### Література

1. «Візія Генерального штабу ЗС України щодо розвитку Збройних Сил України на найближчі 10 років». URL: <http://www.mil.gov.ua/news/2020/01/11/viziya-generalnogo-shtabu>. 2. Указ Президента України №240/2016 Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 травня 2016 року "Про Стратегічний оборонний бюлетень України". URL: <http://www.president.gov.ua/documents/2402016-20137>. 3. Лаврут О.О., Лаврут Т.В., Климович О.К., Здоренко Ю.М. Новітні технології та засоби зв'язку у Збройних Силах України: шлях трансформації та перспективи розвитку. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2019. Вип. 1 (34). С. 91–101. DOI: 10.30748/nips.2019.34.13. 4. Лаврут О.О., Лаврут Т.В., Климович О.К. Перспективи розвитку автоматизованих систем управління тактичної ланки управління Сухопутних військ Збройних Сил України. *Системи обробки інформації*. 2014. Вип. 5 (121). С. 116–120. 5. Лаврут О.О., Климович К.О., Тарасюк М.Л., Антонюк О.Л. Стан та перспективи застосування сучасних технологій та засобів радіозв'язку в Збройних Силах України. *Системи озброєння і військова техніка*. 2017. Вип. 1(49). С. 42–49. 6. Бондаренко Л.О., Плугова О.Б., Цимбал І.В., Черниш Ю.О. Основні інноваційні напрями розвитку системи зв'язку Збройних Сил України. *Збірник наукових праць ВІПІ*. 2016. Вип. 1. С. 19–24. 7. Основні тенденції та перспективи розвитку військового радіорелейного зв'язку. URL: <http://www.ukrmilitary.com/2017/10/RRZ.html>. 8. Пузиренко О.Г., Івко С.О., Лаврут О.О. Аналіз процесу управління ризиками інформаційної безпеки в забезпеченні живучості інформаційно-телекомунікаційних систем. *Системи обробки інформації*. 2014. Вип. 8 (124). С. 128–134. 9. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. М.: Мир, 1979. 600 с. 10. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер; пер. с англ. М.: Мир, 1989. 544 с. 11. Кучук Г.А. Інформаційні технології управління інтегральними потоками даних в інформаційно-телекомунікаційних мережах систем критичного призначення: монографія. Харків: ХУПС, 2013. 264 с. 12. Лемешко А.В., Євдокименко М.О. Вдосконалення потокової моделі маршрутизації в мультисервісній телекомунікаційній мережі із забезпеченням якості обслуговування. *Системи*

*озброєння і військова техніка*. 2020. № 1(61). С. 31–43. DOI: 10.30748/soivt.2020.61.04. 13. Лемешко О.В., Євдокименко М.О., Єременко О.С. Оптимізаційна модель маршрутизації чутливого до затримок трафіка в інфокомунікаційних мережах. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2020, випуск 2(60). С. 152–159. DOI: 10.26906/SUNZ.2020.2.152. 14. Лаврут О.О. Дослідження якості управління потоками інформації у моделі військової телекомунікаційної мережі представленої в тензорному вигляді. *Військово-технічний збірник*. 2015. Вип. 12/2015. С. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.12.2015.34-38>. 15. Лемешко А.В., Евсеева О.Ю. Тензорная геометризация структурно-функционального представления телекоммуникационной системы в базе межполюсных путей и внутренних разрезов. *Наукові записки УНДІЗ*. № 1(13). 2010. С. 14–26. 16. Кротов В.Д., Ткаченко А.Л., Науменко О.Г. Аналіз методів управління трафіком при забезпеченні QoS в мобільних радіомережах тактичної ланки управління. *Збірник наукових праць ВІПІ*. № 1. 2019. С. 49–56. 17. Misra S., Goswami S. Network Routing: Fundamentals, Applications, and Emerging Technologies 1st Edition. Hoboken: Wiley, 2017. 536 p. 18. Здоренко Ю.М., Фесьоха В.В., Лаврут О.О. Система виявлення аномалій трафіку в інформаційно-телекомунікаційних мережах. *International scientific and practical conference «Prospects for the development of technical sciences in EU countries and Ukraine»* Wloclawek, Republic of Poland, December 21–22, 2018. Wloclawek: Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2018. P. 10–12. 19. Крон Г. Тензорный анализ сетей. М.: Сов. радио, 1978. 720 с. 20. Lemeshko O., Yeremenko O., Yevdokymenko M., Hailan Ahmad M. Tensor Multiflow Routing Model to Ensure the Guaranteed Quality of Service Based on Load Balancing in Network. *The Third International Conference “Advances in Computer Science for Engineering and Education III (ICCSEEA 2020)”*. Kyiv, 21–22 January 2020. P. 1–12. DOI:10.1007/978-3-030-55506-1\_11. 21. Лаврут О.О. Вибір критерію оцінювання якості управління потоками інформації у телекомунікаційній мережі мобільного компоненту перспективної системи зв'язку ЗС України. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. 2014. Вип. 3 (16). С. 113–115.



**МОДЕЛЬ И МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ ПОТОКАМИ В  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА УПРАВЛЕНИЯ**

*Александр Александрович Лаврут (доктор технических наук, доцент)<sup>1</sup>*

*Татьяна Валериевна Лаврут (кандидат географических наук, доцент)<sup>1</sup>*

*Юрий Николаевич Здоренко (кандидат технических наук)<sup>2</sup>*

*Владислав Александрович Колесник<sup>1</sup>*

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

<sup>2</sup>*Военный институт телекоммуникаций и информатизации имени Героев Крут, Киев, Украина*

Проводится обзор и анализ тенденций развития и применения новейших технологий и средств связи в подразделениях тактического звена управления Вооруженных Сил Украины. Показано, что в стране ведется работа по созданию эффективной системы оперативного управления, связи, разведки и наблюдения (C4ISR), которая бы соответствовала требованиям НАТО. Технологической основой для реализации данной системы должна стать единая автоматизованная система Вооруженных Сил Украины. Отмечается, что проблемным вопросом является необходимость разработки новых технологических решений управления сетевыми ресурсами с обеспечением их сбалансированной загрузки и гарантированного качества обслуживания разнородных трафиков в такой системе. Проводится анализ существующих моделей решения основных сетевых задач. Показано, что тензорный подход позволяет решать проблемы которые возникают в результате учета взаимосвязанных и одновременно противоречивых требований, которые возникают в процессе управления разнородным трафиком в военной телекоммуникационной сети. Разработано модель и метод многопутевой маршрутизации передачи команд управления между разными узлами (элементами) информационно-телекоммуникационной сети с учетом потокового характера трафика. Приведены результаты расчетов сети с помощью разработанных модели и метода. Проведена сравнительная оценка разработанной модели с известными.

**Ключевые слова:** телекоммуникационная сеть, информационный обмен, многопутевая маршрутизация, управление трафиком, тактическое звено управления, тензорный анализ сетей, сетевый принцип, единое информационное поле.

**MODEL AND METHOD OF INFORMATION FLOW MANAGEMENT IN THE  
TELECOMMUNICATIONS NETWORK OF THE TACTICAL LEVEL OF COMMAND**

*Oleksandr Lavrut (Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor)<sup>1</sup>*

*Tetiana Lavtut (Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor)<sup>1</sup>*

*Yuriy Zdorenko (Candidate of Technical Science)<sup>2</sup>*

*Vladyslav Kolesnyk<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine*

<sup>2</sup>*Military Institute of Telecommunications and Informatization named after Heroes Krut, Kiev, Ukraine*

This article provides a review and analysis of trends in the development and application of the latest technologies and means of communication in the units of the tactical level of command of the Armed Forces of Ukraine. It is shown that the country is working on establishment of effective system of operational management, communication, intelligence and surveillance (C4ISR), which would meet NATO requirements. Technologically, as the basis for implementation of this system should be a unified automated system of the Armed Forces of Ukraine. It is noted that the problematic issue is the need to develop new technological solutions for network resources management to ensure their balanced loading and guaranteed quality of service of heterogeneous traffics in such a system. The analysis of existing models of the solving of the basic network problems is carried out. It is shown that the tensor approach allows to solve the problems which appear during taking into account the interconnected and at the same time contradictory requirements occurring during heterogeneous traffic management in the military telecommunications network. A model and method of multi-path routing of control commands transmission between different nodes (elements) of the information and telecommunication network taking into account the streaming nature of traffic have been developed. The results of network calculations using the above mentioned developed model and method are presented. A comparative assessment of the developed model with the known existing ones has been carried out.

**Key words:** telecommunication network, information exchange, multi-way routing, traffic management, tactical level of command, tensor analysis of networks, network-centric principle, a single information field.

## References

1. «Viziia Heneralnogo shtabu Zbroinykh Syl Ukrainy shchodo rozvytku Zbroinykh Syl Ukrainy na naiblyzhchi 10 rokov». URL: <http://www.mil.gov.ua/news/2020/01/11/viziya-generalnogo-shtabu>.
2. Ukaz Prezidenta Ukrainy №240/2016 Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 20 travnia 2016 roku "Pro Stratehichniy oboronnyi biuletен Ukrainy". URL: <http://www.president.gov.ua/documents/2402016-20137>.
3. Lavrut O.O., Lavrut T.V., Klymovych O.K., Zdorenko Yu.M. Novitni tekhnologii ta zasoby zviazku u Zbroinykh Sylakh Ukrainy: shliakh transformatsii ta perspektyvy rozvytku. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy*. 2019. Vyp. 1 (34). P. 91–101. DOI: 10.30748/nips.2019.34.13.
4. Lavrut O.O., Lavrut T.V., Klymovych O.K. Perspektyvy rozvytku avtomatyzovanykh system upravlinnia taktychnoi lanky upravlinnia Sukhoputnykh viisk Zbroinykh Syl Ukrainy. *Systemy obrobky informatsii*. 2014. Vyp. 5 (121). P. 116–120.
5. Lavrut O.O., Klymovych K.O., Tarasiuk M.L., Antoniuk O.L. Stan ta perspektyvy zastosuvannia suchasnykh tekhnologii ta zasobiv radiozviazku v Zbroinykh Sylakh Ukrainy. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*. 2017. Vyp. 1(49). P. 42–49.
6. Bondarenko L.O., Pluhova O.B., Tsymbal I.V., Chernysh Yu.O. Osnovni innovatsiini napriamky rozvytku systemy zviazku Zbroinykh Syl Ukrainy. *Zbirnyk naukovykh prats VITI*. 2016. Vyp. 1. P. 19–24.
7. Osnovni tendentsii ta perspektyvy rozvytku viiskovoho radioreleinoho zviazku. URL: <http://www.ukrmilitary.com/2017/10/RRZ.html>.
8. Puzyrenko O.H., Ivko S.O., Lavrut O.O. Analiz protsesu upravlinnia ryzykamy informatsiinoi bezpeky v zabezpechenni zhyvuchosti informatsiino-telekomunikatsiinykh system. *Systemy obrobky informatsii*. 2014. Vyp. 8 (124). P. 128–134.
9. Kleinrok L. Vyichislitelnye sistemy s ocherediamy. M.: Myr, 1979. 600 p.
10. Bertsekas D. Sety peredachy dannykh / D. Bertsekas, R. Hallaher; per. s anhl. — M.: Myr, 1989. — 544 p.
11. Kuchuk H.A. Informatsiini tekhnologii upravlinnia intehralnymy potokamy danykh v informatsiino-telekomunikatsiinykh merezhakh system krytychnoho pryznachennia: monohrafiia. Kharkiv: KhUPS, 2013. 264 p.
12. Lemeshko A.V., Yevdokymenko M.O. Vdoskonalennia potokovoi modeli marshrutzatsii v multiservisnii telekomunikatsiinii merezhi iz zabezpechenniam yakosti obsluhovuvannia. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika*. 2020. № 1(61). P. 31–43. DOI: 10.30748/soivt.2020.61.04.
13. Lemeshko O.V., Yevdokymenko M.O., Yeremenko O.S. Optymizatsiina model marshrutzatsii chutlyvoho do zatrymok trafika v infokomunikatsiinykh merezhakh. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku*. 2020. vypusk 2(60). P. 152–159. DOI: 10.26906/SUNZ.2020.2.152.
14. Lavrut O.O. Doslidzhennia yakosti upravlinnia potokamy informatsii u modeli viiskovoi telekomunikatsiinoi merezhi predstavlenii v tenzornomu vyhliadi. Viiskovo-tekhnichniy zbirnyk. 2015. Vyp. 12/2015. P. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.12.2015.34-38>
15. Lemeshko A.V., Evseeva O.Iu. Tenzornaia heometryzatsiia strukturno-funktsionalnogo predstavlenia telekommunikatsiynoi sistemy v bazise mezhpolusnykh putey i vnutrennih razrezov. *Naukovi zapysky UNDIIZ*. № 1(13). 2010. P. 14–26.
16. Krotov V.D., Tkachenko A.L., Naumenko O.H. Analiz metodiv upravlinnia trafikom pry zabezpechenni QOS v mobilnykh radiomerezhakh taktychnoi lanky upravlinnia. *Zbirnyk naukovykh prats VITI*. № 1. 2019. P. 49–56.
17. Misra S., Goswami S. Network Routing: Fundamentals, Applications, and Emerging Technologies 1st Edition. Hoboken: Wiley, 2017. 536 p.
18. Zdorenko Yu.M., Fesokha V.V., Lavrut O.O. Systema vyavlennia anomalii trafiku v informatsiino-telekomunikatsiinykh merezhakh. *International scientific and practical conference «Prospects for the development of technical sciences in EU countries and Ukraine»* Wloclawek, Republic of Poland, December 21–22, 2018. Wloclawek: Izdevnieciba «Baltija Publishing», 2018. P. 10–12.
19. Kron H. Tenzornyiy analiz setei / H. Kron. — M.: Sov. radio, 1978. — 720 p.
20. Lemeshko O., Yeremenko O., Yevdokymenko M., Hailan Ahmad M. Tensor Multiflow Routing Model to Ensure the Guaranteed Quality of Service Based on Load Balancing in Network. *The Third International Conference “Advances in Computer Science for Engineering and Education III (ICCSEE 2020)”*. Kyiv, 21–22 January 2020. P. 1–12. DOI:10.1007/978-3-030-55506-1\_11.
21. Lavrut O.O. Vybir kryteriiu otsiniuvannia yakosti upravlinnia potokamy informatsii u telekomunikatsiinii merezhi mobilnogo komponentu perspektyvnoi systemy zviazku ZS Ukrainy. *Nauka i tekhnika Povitrianykh syl Zbroinykh Syl Ukrainy*. 2014. Vyp. 3 (16). P. 113–115.

*Роман Михайлович Штонда  
Володимир Вікторович Куцаєв  
Олена Михайлівна Сівоха  
Михайло Васильович Артемчук*

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

## МЕТОДИ ПРОТИДІЇ ВІРУСУ ШИФРУВАЛЬНИК В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

*У цій статті пропонується алгоритм, яким керуються системні адміністратори для протидії несанкціонованим спробам шифрування інформації в інформаційних системах.*

*Факти вказують, що терміновість вжитих заходів полягає в тому, що кількість атак програм шифрування досягла 30% від загальної кількості глобальних кібератак та кіберінцидентів. Масштабні кібератаки відбуваються приблизно кожних шість місяців, а методи проникнення та алгоритми шифрування постійно вдосконалюються. Відповідно до моделі Cyber-Kill Chain, зловмисники успішно досягають поставленої мети на цільовому комп'ютері.*

*Метою заходів щодо усунення несанкціонованого шифрування інформації в системі є запобігання її дії на початку роботи.*

*Автори рекомендують заздалегідь розміщувати зразки програмного забезпечення в інформаційній системі, це дозволить своєчасно виявляти ознаки несанкціонованого шифрування інформації в системі.*

*Заходи включають розміщення зразка спеціального програмного забезпечення в системі якомога раніше. Зразок може реалізувати "постійний програмний моніторинг" процесу в системі, щоб зупинити процесор, коли є ознаки шифрування, тобто: коли процесор перевантажений, коли виявляються підозрілі процеси, при виявленні ознак дії алгоритму шифрування, у разі синхронізації і коли важливі файли зникають, у разі спроби перезавантажити систему та інших ознак. Автори порівнюють систему мережевої безпеки із ситуацією, коли рекомендовані заходи не застосовуються. Автори вважають, що, виходячи з ефективності відповідних заходів, система захисту мережі зростає до 0,99.*

*Висновок цієї статті полягає в тому, що розміщення спеціального програмного забезпечення в системі дозволить протидіяти якомога швидше вірусу шифрувальнику та покращить безпеку системи.*

*Подальші дослідження дозволять розповсюдити рекомендовані заходи щодо усунення поведінки різних типів кібератак, які досягли цільової машини, а також виникнення кіберінцидентів відповідно до моделі Cyber-Kill Chain.*

***Ключові слова:** вірус-шифрувальник; кібератака; кіберзахист; Cyber Kill Chain; інформаційна система.*

### Вступ

Основні світові аналітики визнають, що 30% сучасних кіберзагроз становлять спроби шифрування інформації в системах з подальшою вимогою надати викуп за можливість її відновлення.

Відома розширена модель проведення атаки Cyber-Kill Chain [1] визначає кроки, які реалізує зловмисник для досягнення можливості виконати несанкціоновані дії на кінцевих точках у визначених ним мережах. При цьому зловмисник реалізує наступні кроки:

1. Кроки зовнішньої Cyber-Kill Chain:
  - зовнішня розвідка мережі;
  - озброєння – вибір інструментів;
  - доставка шкідливого програмного забезпечення (далі – ШПЗ);
  - зовнішнє зараження;
  - встановлення ШПЗ;
  - досягнення можливості управління;

дії в мережі.

2. Кроки внутрішньої Cyber-Kill Chain:

- внутрішня розвідка в мережі;
- озброєння – вибір інструментів;
- доставка ШПЗ;
- внутрішнє зараження;
- підвищення прав;
- горизонтальне переміщення;
- маніпуляції з цільовою машиною.

3. Cyber-Kill Chain маніпуляції з цільовою машиною:

- розвідка цілі;
- зараження цілі;
- озброєння інструментами;
- встановлення ШПЗ;
- досягнення цілі зловмисника.

На рис. 1 вказано ланцюжок дій зловмисників згідно моделі Cyber-Kill Chain необхідних для досягнення зловмисником можливості виконання мети на кінцевій машині.

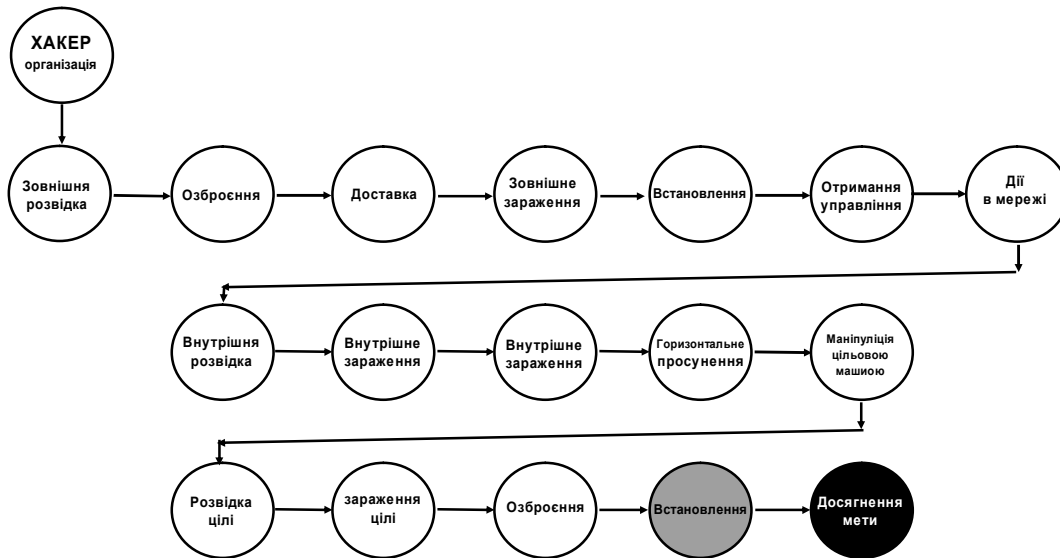


Рис. 1 Ланцюжок дій, які реалізує зловмисник згідно моделі Cyber-Kill Chain

Експерти вважають що зловмисники досконало відпрацьовують всі кроки ланцюжка моделі Cyber-Kill Chain необхідні для вдалого вторгнення до цільової машини та потім успішно виконують заплановані шкідливі дії на цільовій машині. На кожному етапі моделі Cyber-Kill Chain застосовуються необхідні заходи кіберзахисту, але зловмисники постійно та впевнено долають цій

захист. Тому автори пропонують зосередити зусилля захисту від кібервпливу на останніх етапах встановлення та початку дії вірусу шифрувальника. На рис. 2 вказано місце заходів кіберзахисту в ланцюжку моделі Cyber-Kill Chain, які будуть запропоновані для протидії роботі вірусу шифрувальнику.

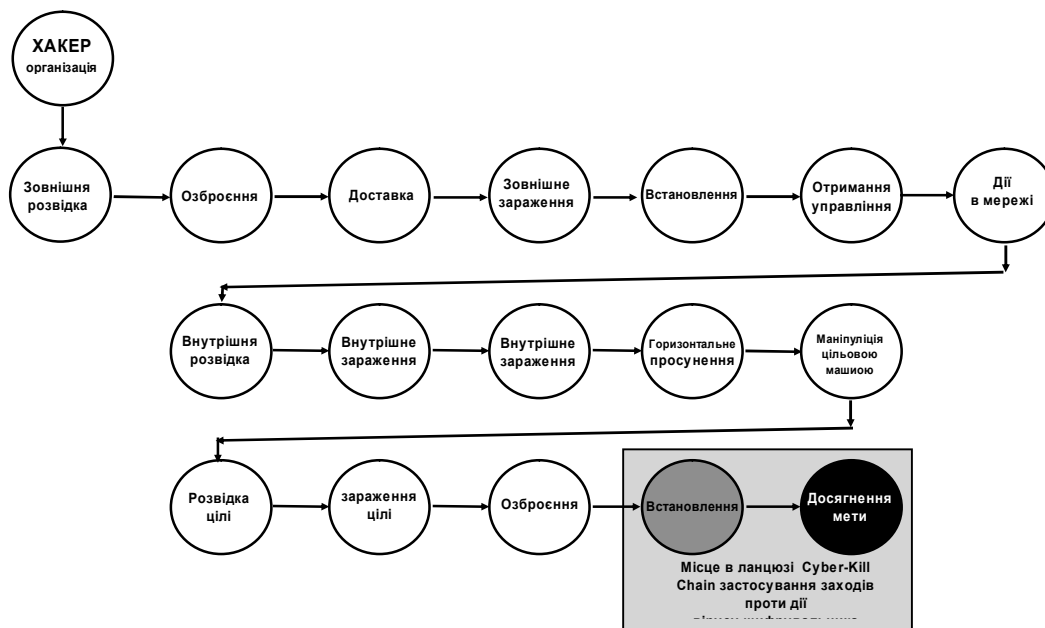


Рис. 2 Місце впливу запропонованих заходів протидії вірусу шифрувальнику в ланцюжку моделі Cyber-Kill Chain

Вірус шифрувальник (далі – ВШ), це програмне забезпечення, яке здатне непомітно проникати в інформаційні системи (далі – ІС) та шифрувати важливу інформацію, блокуючи роботу ІС. Після цього зловмисники, які оперують ВШ вимагають власників систем заплатити викуп. Наприклад на екранах в ІС з’являється напис “Ваші файли зашифровані. Щоб отримати ключ

для розшифрування, терміново переведіть деяку визначену суму коштів”[2].

Вірус може потрапити у комп’ютер з прикріпленою до електронного листа документу Word або з оновлення додатку, наприклад бухгалтерського М.Е.doc. При відкритті такого документу завантажується прихований шкідливий файл, який, в свою чергу, використовується в

якості завантажувача основного функціоналу ВШ. Найвідомішим в Україні прикладом ВШ стали віруси WannaCry та Petya.A [3]. Надалі в планувальнику задач встановлюється команда на перезавантаження систем, а після перезавантаження на інфікованому комп'ютері починає виконуватися шкідливий код ВШ. Потім вірус шифрує значну частину призначених для користувача файлів: фотографії, музичні файли, відео файли, текстові документи, архіви, електронну пошту, бази даних та файли з розширеннями, які виконуються.

Кілька років тому атакам вірусів цього класу піддавалися тільки комп'ютери на базі операційної системи Windows. Сьогодні їх ареал розширився до таких операційних систем, як Linux, Mac і Android. Після WannaCry з'явилися не менш витончені Petya.A, Alkatraz Locker, CrySIS, Globe, NoobCrypt, Bad Rabbit та багато інших [4].

**Постановка проблеми.** У 2013-2017 роках кібератаки проти України здійснювалися з використанням АРТ-атак (Snake, Uroboros, Sofacy/APT28, Epic Turla, Black Energy 2 і 3, Armageddon та інші), характерних саме для України. Перші системні атаки були зафіксовані у травні 2014 року на об'єкти критичної інформаційної інфраструктури України (Укрзалізницю та сервери Центральної виборчої комісії під час проведення президентських виборів). Також відбулися кібератаки на енергетичний сектор: у грудні 2015 року – на ПАТ “Прикарпаття обленерго” і ПАТ “Київ обленерго”; у грудні 2016 року – на компанію “Укренерго” (споживачі частини правого берега Києва та прилеглих районів області залишилися без струму). У червні 2017 року об'єкти критичної інфраструктури України зазнали масштабної атаки комп'ютерного вірусу Petya.A.

Тому існує необхідність створення заходів для протидії ВШ. Важливість створення таких заходів полягає в тому, що спостерігається постійне просування нових зразків вірусу шифрувальника типу Petya.A по всьому світу та нажалі до низки мереж українських державних і приватних установ, зокрема, сайту Кабінету Міністрів України і ряду інших міністерств, а саме пенсійного фонду, Київської міської державної адміністрації, низки банків, крупних державних і приватних підприємств тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Складність захисту від дій ВШ потребує створення динамічних систем захисту здатних заздалегідь перехоплювати вірус або блокувати його роботу на початку, коли інформацію системи ще можливо зберегти.

Питання кіберзахисту ІС та їх складових знайшли своє відображення у розробці наукових підходів та математичного апарату в роботах багатьох дослідників, для прикладу взяті джерела [6–9], а нижче коротко наведені їх особливості.

В запропонованій авторами [5] методиці оцінки ризиків в ІС оцінка захищеності від вірусів досягається шляхом виконання трьох етапів. На першому етапі розраховуються методики для об'єктів, графіків атак (критичність, значимість, складність доступу, реалізація загрози). На другому етапі на основі розрахунків, виконаних на першому етапі, розраховується кількісний рівень для загроз, які аналізуються. На останньому етапі на основі рівнів загроз визначається підсумковий рівень безпеки ІС.

В наведеній методиці не запропоновано порівняння ризиків для ІС без застосування упереджувачих заходів та при застосуванні заходів, які здатні блокувати початок шифрування.

У тезах статті [6] приведено алгоритм протидії автоматизованим засобам соціальної інженерії, завдяки яким можливо унеможливити впровадженню ВШ та його блокування на етапі його втручання в системи. Алгоритм в поєднанні з методиками менеджменту ризиків та вразливостей ІС декларується, як корисний інструмент для підвищення рівня інформаційної безпеки ІС у цілому. На думку авторів, алгоритм не є вирішенням всіх можливих проблем інформаційної безпеки ІС, особливо від дії ВШ тому що він не дає можливості заздалегідь заблокувати всі напрямки зараження, виявити техніку приховування тіла вірусу шифрувальника та заблокувати процес шифрування.

У дослідженні [7] запропоновано кортежну модель базових параметрів оцінювання негативних наслідків блокування ІС від кібератак на дану ІС. В контексті дослідження шляхів чи напрямків кібернетичного захисту модель має сенс, але не відповідає потребі покращення захисту від ВШ на окрему ІС.

Метод реєстрацій аномалій в ІС на основі контрольних карт Шухарта, як і будь-який статистичний метод виявлення аномалій [8] в ІС та запобігання вторгненням при кіберзахисті об'єкту, має недолік пов'язаний з необхідністю набору статистики даних про значення параметру відносно якого проводиться аналіз стану кіберзахисту ІС. Використання контрольних карт Шухарта вимагає попереднього визначення середніх значень та контрольних границь параметру, що досліджуються. Недоліком роботи [8] є те, що для адекватного виявлення аномалій, які викликані кібератаками типу ВШ, середні значення контрольних границь під час функціонування повинні щоразу переглядатись, що вимагає додаткових ресурсів часу та авторами вважається важко досяжними. В такому випадку значно ускладнюється процес оперативного впливу на захищеність ІС від дій ВШ.

**Метою статті** є запропонувати алгоритм покращеного захисту ІС від діяльності ВШ, який дозволить заблокувати ВШ ще до початку його роботи в системах.

**Виклад основного матеріалу дослідження**

Сучасні практичні рекомендації та інструкції для протидії спробам шифрування інформації в системах та заходів для її відновлення.

На даний час деякі інструкції та алгоритми дій адміністраторів при перших ознаках роботи ВШ, таких як перезавантаження ІС, подальше блокування ІС, банер з умовами зловмисників та інші рекомендують негайно вимкнути живлення комп'ютера натисканням і утриманням кнопки Power протягом 3-4 секунд. Це дозволяє врятувати хоча б частину файлів або не врятувати нічого, тому що можливо процес шифрування вже закінчено, а ключова інформація надійно знищена. Надалі рекомендовано створити на іншому комп'ютері завантажувальний диск або USB-флеш з антивірусною програмою. Наприклад LiveDisk, ESET NOD32, LiveCD і т.ін.. Завантажити комп'ютер, який піддався дії вірусу шифрувальника з цього диска та просканувати системи. Видалити знайдене шкідливе програмне забезпечення зі збереженням в карантин (на випадок, якщо вони знадобляться для розшифрування) [9]. Спробувати відновити зашифровані файли з тінювих копій засобами систем або за допомогою сторонніх додатків призначених для відновлення даних.

Більшість сучасних інструкцій не рекомендують платити викуп, тому що оплата не гарантує отримання ключів для розшифрування даних, що підлягли впливу ВШ. Якщо ви користуєтесь платним антивірусним програмним забезпеченням, необхідно звернутись в службу його підтримки. Більшість розробників антивірусних програм допомагають не тільки своїм користувачам, а й всім постраждалим.

Надалі можливо використати викладені на сайтах розробників антивірусних продуктів безкоштовні утиліти-дешифратори для різних типів вірусу шифрувальника. Визначивши тип ВШ, необхідно скачати відповідну утиліту, обов'язково зробити копії пошкоджених файлів і спробувати їх розшифрувати. Якщо файли не розшифровуються та жодна утиліта не допомогла, цілком ймовірно, що відновлення інформації неможливо або потрібно довго чекати появи ключової інформації. Недоліком такої стратегії є

запізнення з заходами щодо протидії процесу шифрування та майже унеможливлення можливості розшифрування інформації систем.

Таким чином зазначимо, що публікації в даній предметній області не дають остаточні відповіді на питання пов'язані з пошуком ефективних шляхів захисту ІС від кібератак типу несанкціоноване шифрування. Відсутні обґрунтовані рекомендації щодо заходів для блокування процесу шифрування інформації в ІС. Відсутні відповіді на наступні питання:

що робити, як що ВШ вдало пройшов усі ланцюжки Cyber-Kill Chain, а антивіруси та системи безпеки типу IDS, IPS, NGFW не перехопити ВШ на етапі його впровадження до цільової машини;

яким чином встигнути заблокувати ВШ на початку його роботи;

які демаскуючі ознаки діяльності ВШ на цільовій машині дозволять своєчасно його виявити та заблокувати;

яким чином можливо ефективно відновити або розшифрувати інформацію ІС;

яким чином покращити ефективність відновлення роботи ІС загалом.

Більшість існуючих рекомендації та інструкції регламентують дії адміністраторів після того, як інформація в системах вже зашифрована. Тільки тоді зусилля концентруються на спробах розшифрування. Практика вказує, що це майже неможливо [2-5].

Розглянемо кіберзахист ІС РС з точки зору "теорії масового обслуговування". Кіберзахист ІС – здатність систем виконувати завдання за призначенням в умовах кібератак противника [10].

На вхід системи кібернетичної безпеки (далі – СКБ) поступають кібератаки, які мають наступні характеристики (рис. 3):

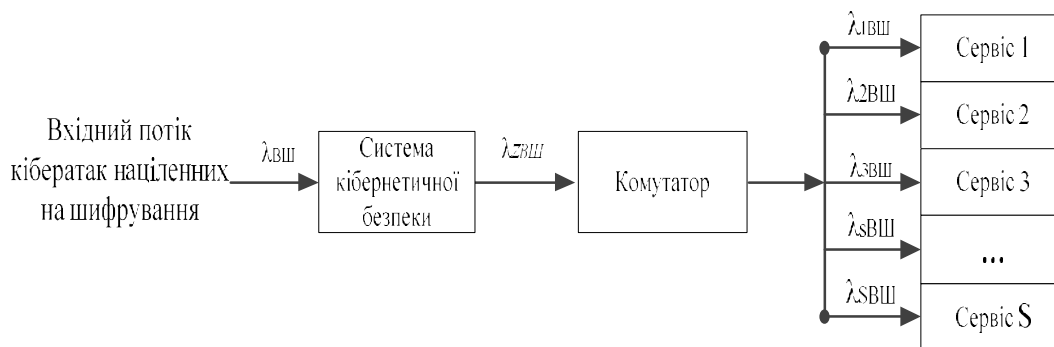
$\lambda$  – інтенсивність загального потоку кібератак на вході ІС;

$\lambda_{ВШ}$  – інтенсивність потоку кібератак на вході ІС націлених на шифрування інформації;

$\lambda_{ZВШ}$  – інтенсивність загального потоку кібератак націлених на шифрування інформації після впливу на потік  $\lambda_{ВШ}$  СКБ;

$PЗ$  – показник захищеності ІС від кібератак;

$КВ$  – коефіцієнт вразливості ІС від кібератак.



$$КВ = \lambda_Z / \lambda, \quad PЗ = 1 - \lambda_Z / \lambda$$

Рис. 5 Модель ІС з СКБ для захисту від кібератак, в тому числі від атак ВШ

Для визначення кіберзахисту ІС використаємо формулу розрахунку кіберзахисту ІС (1) від дій шкідливого програмного забезпечення (далі – ШПЗ) з роботи [10].

$$P_C = \sum_j (P_{tsj} \times K_{BGZj}) / \sum_j (K_{BGZj}), \quad (1)$$

де  $P_C$  – показник кіберзахисту систем від впливу ШПЗ;

$P_{tsj}$  – показник ефективності заходу застосування засобів ( $j$ ) призначених для захисту ІС від дій ШПЗ;

$K_{BGZj}$  – ваговий коефіцієнт заходу застосування засобів ( $j$ ) призначених для захисту ІС від дій ШПЗ;

$J$  – кількість заходів застосування засобів захисту ІС,  $j = 1 \dots J$ .

Використаємо формулу (1) для розрахунку захищеності ІС від дій ВШ. Розрахуємо  $P_{звш}$  – захищеність ІС від дій ВШ з урахуванням вагових коефіцієнтів кожного заходу застосування засобів –  $K_{BGj}$  за формулою (2).

$$P_{звш} = \sum_j (P_{вщj} \times K_{BGвщj}) / \sum_j (K_{BGвщj}), \quad (2)$$

де  $P_{звш}$  – показник кіберзахисту ІС від впливу ВШ;

$P_{вщj}$  – показник ефективності заходу застосування засобів ( $j$ ) для захисту ІС від дій ВШ;

$K_{BGвщj}$  – ваговий коефіцієнт заходу застосування засобів ( $j$ ) для захисту ІС від дій ВШ;

$J$  – кількість заходів застосування засобів для захисту ІС від дій ВШ,  $j = 1 \dots J$ .

Тоді локальну захищеність ІС від дій ВШ  $P_{звш}$  при умові застосуванні засобів для вчасного блокування та подальшого розшифрування інформації пропонуємо розрахувати за формулою (3).

$$P_{звш} = ((P_{бвш} \times K_{BGбвш}) + (P_{дшф} \times K_{дшф})) / (K_{BGбвш} + K_{дшф}), \quad (3)$$

де  $P_{бвш}$  – показник ефективності застосування засобів блокування початку роботи ВШ;

$P_{дшф}$  – показник ефективності застосування засобів для розшифрування інформації;

$K_{BGбвш}$  – ваговий коефіцієнт застосування засобів блокування початку роботи ВШ;

$K_{дшф}$  – ваговий коефіцієнт застосування засобів для розшифрування інформації;

$J = 2$  – кількість заходів застосування засобів, які задіяні проти ВШ.

Для порівняння проведемо розрахунок захищеності ІС від дій ВШ у випадку, коли заходи захисту зовсім не реалізовані. Тоді зрозуміло, що  $P_{бвш} = 0$ ;  $P_{дшф} = 0$ , а згідно методики Сааті та експертним оцінкам кіберфахівців [11, 12] у даному випадку  $K_{BGбвш} = 0,9$ ;  $K_{дшф} = 0,9$ .

$$P_{звш} = ((0,0 \times 0,9) + (0,0 \times 0,9)) / (0,9 \times 0,9) = 0,00.$$

Проведемо розрахунок захищеності ІС від дій ВШ у випадку, у випадку коли реалізовано тільки заходи для малоїмовірного розшифрування та відновлення ІС, після вдалої дії ВШ. Зазначимо, що згідно методики Сааті та експертним оцінкам кіберфахівців [11, 12]  $P_{бвш} = 0$ ;  $P_{дшф} = 0,1$ .

$$P_{звш} = ((0,0 \times 0,9) + (0,1 \times 0,9)) / (0,9 \times 0,9) = 0,05.$$

Бачимо що у цьому випадку оцінка

захищеності ІС від дії ВШ –  $P_{звш}$  дорівнює 0,05 що є незадовільною оцінкою ефективності системи кібернетичної безпеки.

Автори пропонують зосередити зусилля захисту на блокуванні процесу шифрування ще на його початку, щоб потім не було потреби в надскладному розшифруванні інформації.

Пропозиція полягає в тому, щоб заздалегідь розгорнути в ІС програмно-апаратні засоби, які здатні до своєчасного виявлення ознак шифрування, блокування процесу шифрування, аварійного копіювання, пошуку ключової інформації, відновлення видалених або зашифрованих файлів та відновлення працездатності систем в цілому.

Пропонується комплексно застосувати наступні зразки спеціального програмного забезпечення (далі – СПЗ):

СПЗ для недопущення проникнення ВШ в ІС;

СПЗ для екстреного резервного копіювання образу ІС;

СПЗ для контролю за існуючими “процесами” в ІС;

СПЗ для контролю за навантаженням CPU;

СПЗ для контролю за файлами;

СПЗ для виявлення ознак шифрування інформації в ІС;

СПЗ для екстреної при зупинки CPU або уповільнення його роботи;

СПЗ – для оповіщення підрозділів ІС про загрозу дії ВШ;

СПЗ – для блокування спроб несанкціонованого перезавантаження систем;

СПЗ – для пошуку паролів інформації;

СПЗ – для відновлення ІС (ОС, додатків та даних).

Головна пропозиція авторів наведена на рис. 4 та полягає у концентрації зусиль на недопущенні початку шифрування інформації. Розміщення такого СПЗ дозволить адміністраторам ІС вчасно виявити та призупинити процес шифрування інформації, провести аналіз інциденту та зберегти працездатність систем.

На рис. 4 надано пояснення щодо попереднього розміщення СПЗ необхідного для своєчасного блокування процесу шифрування.

Автори пропонують в подальшому розробити та застосувати в складі СКБ зразки вищевказаного СПЗ, таким чином щоб мати можливість своєчасного блокування початку роботи ВШ під час його проникнення в ІС або на перших етапах здійснення роботи ВШ. Таким чином, можливо недопущення шифрування, а в наслідок цього і відсутність проблем щодо надскладного та малоїмовірного розшифрування інформації. Адміністраторам ІС слід зосередити увагу на прямих та опосередкованих ознаках дії ВШ.

На рис. 5 вказана рекомендована послідовність дій для завчасного блокування дії ВШ, яка ймовірно покращить захищеність ІС від дій ВШ –  $P_{звш}$ .

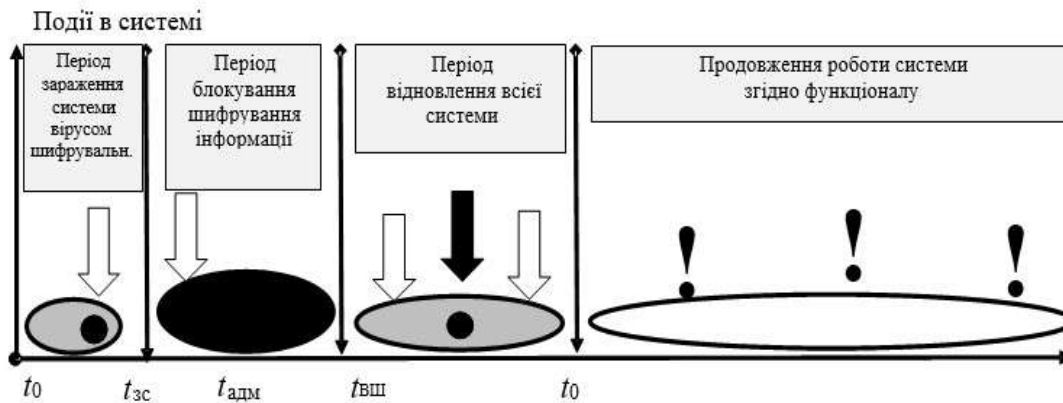


Рис. 4 Період упереджуючи заходів необхідних для блокування початку шифрування інформації в системах

На рис. 4 надано пояснення щодо попереднього розміщення СПЗ необхідного для своєчасного блокування процесу шифрування.

Автори пропонують в подальшому розробити та застосувати в складі СКБ зразки вищевказаного СПЗ, таким чином щоб мати можливість своєчасного блокування початку роботи ВШ під час його проникнення в ІС або на перших етапах здійснення роботи ВШ. Таким чином, можливо недопущення шифрування, а в наслідок цього і відсутність проблем щодо надскладного та малоімовірного розшифрування інформації. Адміністраторам ІС слід зосередити увагу на прями та опосередковані ознаки дії ВШ.

На рис. 5 вказана рекомендована послідовність дій для завчасного блокування дії ВШ, яка ймовірно покращить захищеність ІС від дій ВШ – РЗВШ.

Автори пропонують наступну послідовність дій адміністраторів:

1. Заздалегідь завантажити в ІС актуальні зразки СПЗ з функціями антивірусного захисту.
2. Завантажити в системи СПЗ здатне виявляти ознаки несанкціонованого шифрування, призупинення процесів та CPU, копіювання інформації з ОЗУ та HDD, пошуку ключів, відновлення і розшифрування інформації та відновлення ІС.
3. Забезпечити роботу ІС згідно її функціоналу.
4. Налаштувати роботу СПЗ необхідного для виявлення ознак дії ВШ в ІС.
5. Забезпечити чергування вищевказаного СПЗ в системах.
6. У випадку своєчасного виявлення ознак ВШ здійснити блокування роботи ВШ.
7. Відновити працездатність ІС згідно її функціоналу.
8. При необхідності здійснити пошук ключів та розшифрування інформації.
9. У випадку коли ознаки шифрування виявлені, адміністратор здійснює наступні дії:  
знищує шкідливі процеси в ІС;  
здійснює копіювання образу інформації ІС;

завантажує образи ІС на станцію кібернетичної експертизи типу Ntb HP "G7/8";

здійснює спробу крипто аналізу алгоритму шифрування;

здійснює пошук сигнатур ВШ;

здійснює пошук ключів шифрування в образах інформації;

здійснює розшифрування та відновлення файлів;

здійснює відновлення ОС, додатків та даних ІС;

розробляє звіт про інцидент в ІС;

приймає участь в аналізі шляхів зараження ІС (наприклад з оновлень додатків, вкладень E.mail повідомлень або веб-сайтів);

якщо адміністратор не виявляє ознак ВШ, то робота ІС – продовжується.

Для відпрацювання запропонованої послідовності дій автори рекомендують сформулювати безпечний сектор обладнання та засобів - "cyber training ground" для тренування адміністраторів – "кіберполігон". Регулярно проводити тренування фахівців для відпрацювання захисту від спроб несанкціонованого шифрування інформації.

У випадку, коли послідовність дій для нейтралізації дій ВШ реалізована вдало при розрахунку захищеності ІС використаємо експертні оцінки [11–13], де  $P_{\text{ВШ}}=0,9$ ;  $P_{\text{ДШФ}}=0,9$ . Тоді захищеність систем від дії ВШ дорівнює:

$$P_{\text{ЗВШ}} = ((0,9 \times 0,9) + (0,0 \times 0,9)) / (0,9 \times 0,9) = 0,45.$$

Захищеність  $P_{\text{ЗВШ}} = 0,45$  також недостатня, але під час налаштування зразків СПЗ, а головне після підвищення професійності дій користувачів, адміністраторів та власників систем, захищеність ІС від дій ВШ може досягти до  $P_{\text{ЗВШ}} = 0,95$  при цьому згідно експертним оцінкам [11–13]  $P_{\text{ВШ}} = 0,99$ ;  $P_{\text{ДШФ}} = 0,9$ . Тоді захищеність систем від дії ВШ дорівнює:

$$P_{\text{ЗВШ}} = ((0,99 \times 0,9) + (0,9 \times 0,9)) / (0,9 \times 0,9) = 0,95.$$

На рис. 6 вказані періоди часу використання заходів протидії ВШ, блокування шифрування та заходів направлених на відновлення даних ІС.



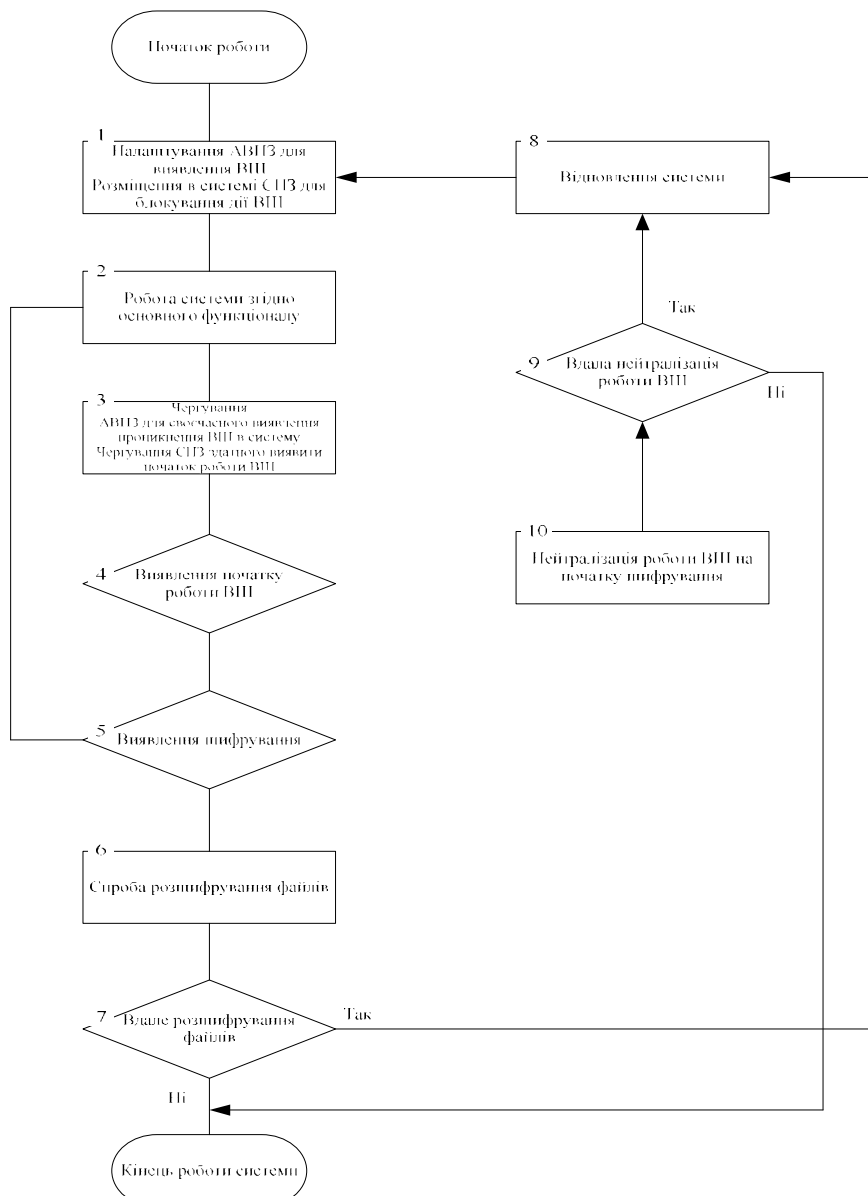


Рис. 5 Схема-алгоритм запропонованих дій для завчасного блокування діяльності ВШ

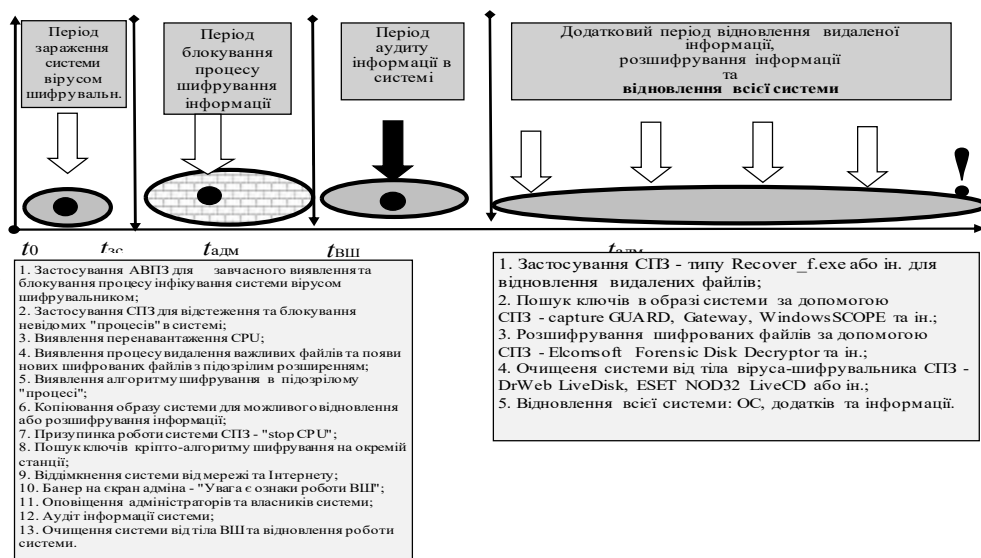


Рис. 6 Приклад одночасного використання двох заходів застосування засобів необхідних для ефективного блокування роботи ВШ

Тоді у випадку, коли реалізовано всі сучасні заходи для завчасного блокування початку роботи ВШ в ІС та заходи для ефективного розшифрування файлів, розрахунок захищеності, де згідно експертним оцінкам [11–13]  $P_{\text{БВШ}} = 0,99$ ;  $P_{\text{ДШФ}} = 0,99$  дорівнює:

$$P_{\text{ЗВШ}} = ((0,99 \times 0,9) + (0,99 \times 0,9)) / (0,9 \times 0,9) = 0,99.$$

В такому разі захищеність ІС  $P_{\text{ЗВШ}} = 0,99$ , що є достатньою, а під час постійного доопрацювання СПЗ та навчання фахівців, захищеність ІС дій від ВШ може досягти  $P_{\text{ЗВШ}} = 0,999$ .

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Використання запропонованого порядку дій адміністраторів безпеки при виявленні ознак шифрування інформації дозволить адміністраторам систем своєчасно заблокувати дії ВШ та підвищити захищеність ІС від дій ВШ до  $P_{\text{ЗВШ}} = 0,99$ .

Для унеможливлення роботи ВШ в ІС доцільно заздалегідь підготувати засоби захисту та забезпечити повну обізнаність фахівців адміністраторів а саме:

досягати повної обізнаності адміністраторів та користувачів щодо загрози від ВШ та відпрацьовувати їх практичні навички для протидії загрозам дій ВШ ;

постійно оновляти актуальне СПЗ для можливості ефективного блокування початку роботи ВШ;

постійно резервувати інформацію систем, щоб у вас було декілька бекапів: один у хмарі,

наприклад Dropbox, Google Drive та інших спеціалізованих сервісах, а також на змінному носії (знімний жорсткий диск, USB-флеш або запасний комп'ютер);

проводити навчання для підвищення навичок адміністраторів систем практично нейтралізувати дії ВШ;

для захисту ІС слід застосовувати обидва комплекти засобів захисту від дії ВШ для недопущення початку шифрування та можливості ефективного розшифрування інформації.

Наслідком таких зусиль стане ріст захищеності систем від дій ВШ до  $P_{\text{ЗВШ}} \rightarrow 0,999$ .

Подальші напрямки досліджень дозволять поширити запропонований підхід на блокування різноманітних класів ШПЗ – руткітів, хробаків, бекдорів, різноманітних вірусів та систем вторгнень, враховуючи при цьому особливості їх дій.

### Література

1. Расширенная модель Cyber-Kill Chain и почему ее надо учитывать в стратегии защиты [Електронний ресурс]. <https://habr.com/ru/company/panda/blog/327488/>
2. Новое время “Захисти себе сам. Все що потрібно знати про вірус Petya.A” [Електронний ресурс]. – <https://nv.ua/ukr/techno/gadgets/zahisti-sebe-sam-vse-shcho-potribno-znati-pro-virus-petya-a-1392163.html>
3. Vesti Ukraine “Все что известно о вирусе WannaCry и Petya.A” [Електронний ресурс]. <https://vesti.ua/mir/244843-vse-chto-izvestno-o-virus-wannacry-i-4>
4. Tech today “Все что нужно знать о вирусе Petya и как с ним бороться” [Електронний ресурс]. <https://techtoday.in.ua/ru/reviews-ru/vse-chto-nuzhno-znat-o-virus-petya-kak-s-nim-borotsya-75861.html>
5. Котенко И.В. Оценка рисков в компьютерных сетях критических инфраструктур / И.В. Котенко, И.Б. Саенко, Е.В. Дойникова // Инновации в науке: зб. наук. пр. / XVI міжнар. наук.-практ. конф. Частина I. – Новосибірськ: СибАК, 2013. Вип.№16-1. С. 84 – 88.
6. Давидюк А.В. Протидія автоматизованим засобам використання соціальної інженерії / А.В. Давидюк, В.М. Петрик // Актуальні проблеми управління інформаційною безпекою держави: зб. тез наук. доп. наук.-практ. конф. (Київ, 30 березня 2018 р.) [Електронне видання]. – К.: Нац. акад. СБУ, 2018. С. 346 – 347.
7. Korchenko A., Dreis Yu., Roshchuk M., Romanenko O. Consequence evaluation model of leak the

state secret from cyberattack directing on critical information infrastructure of the state // Ukrainian Scientific Journal of Information Security, 2018, vol. 24, issue 1, P. 29-35.

8. Шевченко А.С. Механізми виявлення кібернетичних атак на основі контрольних карт Шухарта/ А.С. Шевченко // Актуальні проблеми управління інформаційною безпекою держави: зб. тез наук. доп. наук.-практ. конф. (Київ, 30 березня 2018 р.) [Електронне видання]. – К.: Нац. акад. СБУ, 2018. С. 186 – 189.
9. Новый небезпечный вирус-шифровальник. Молодий буковинець <https://molbuk.ua/news/201684-fakhivci-znayshly-novyy-nebezpechnyy-virus-shyfruvalnyk.html>
10. Рекомендації до знищення наслідків дії вірусу Petya.A – “Новинарня”. Вірус шифрувальник., CERT – Режим доступу: <https://novynarnia.com/2018/11/17/cert-ua.html>.
11. Куцаєв В.В. Радченко М.М. Методика оцінки кібернетичної захищеності інформаційно-телекомунікаційного вузла. Збірник наукових праць ВІТІ. Київ, 2018. Вип. №2.
12. Куцаєв В.В., Козубцов І.М. Експертні оцінки захищеності систем методом Сааті. Збірник наукових праць ВІТІ. Київ, 2017. Вип. №3.
13. Чердніченко О.М., Куцаєв В.В., Гук О.М., Шугалій О.О. Аналіз кібернетичних інцидентів на території України та базові методи кібернетичного захисту від них. Збірник наукових праць ВІТІ. Київ, 2018. Вип. №3.

**МЕТОДЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ВИРУСУ ШИФРОВАЛЬЩИК  
В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

*Роман Михайлович Штонда  
Владимир Викторович Куцаев  
Елена Михайловна Сивоха  
Михаил Васильевич Артемчук*

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

*В этой статье предлагается алгоритм, которым руководствуются системные администраторы для противодействия несанкционированным попыткам шифрования информации в информационных системах.*

*Факты указывают, что срочность принятых мер заключается в том, что количество атак программ шифрования достигла 30% от общего количества глобальных кибератак и киберинцидентов. Масштабные кибератаки происходят примерно каждые шесть месяцев, а методы проникновения и алгоритмы шифрования постоянно совершенствуются. Согласно модели Cyber-Kill Chain, злоумышленники успешно достигают поставленной цели на целевом компьютере.*

*Целью мероприятий по устранению несанкционированного шифрования информации в системе является предотвращение ее действия в начале работы.*

*Авторы рекомендуют заранее размещать образцы программного обеспечения в информационной системе, это позволит своевременно выявлять признаки несанкционированного шифрования информации в системе.*

*Мероприятия включают размещение образца специального программного обеспечения в системе как можно раньше. Образец может реализовать "постоянный программный мониторинг" процесса в системе, чтобы остановить процессор, когда есть признаки шифрования, то есть: когда процессор перегружен, когда появляются подозрительные процессы, при обнаружении признаков действия алгоритма шифрования, в случае синхронизации и когда важные файлы исчезают, в случае попытки перезапустить систему и других признаков. Авторы сравнивают систему сетевой безопасности с ситуацией, когда рекомендованные меры не применяются. Авторы считают, что, исходя из эффективности соответствующих мер, система защиты сети возрастет до 0,99.*

*Вывод этой статьи заключается в том, что размещение специального программного обеспечения в системе позволит противодействовать как можно скорее вирусу шифровальщик и улучшит безопасность системы.*

*Дальнейшие исследования позволят распространить рекомендованные меры по устранению поведения различных типов кибератак, которые достигли целевой машины, а также возникновения киберинцидентов согласно модели Cyber-Kill Chain.*

**Ключевые слова:** *вирус-шифровальщик; кибератака; киберзащита; Cyber Kill Chain; информационная система.*

**METHODS FOR ANTI-ENTRY VIRUS IN INFORMATION SYSTEMS**

*Roman Mikhailovich Shtonda  
Vladimir Viktorovich Kutsaev  
Elena Mikhailovna Sivokha  
Mikhail Vasilievich Artemchuk*

*Military Institute of Telecommunications and Informatization named after Heroes Krut, Kiev, Ukraine*

*The article proposes an algorithm for the actions of the system administrator to counteract attempts at unauthorized encryption of information in information systems.*

*The relevance of the development of such measures is that the number of ransomware attacks reaches 30 percent of the total number of cyber incidents in the world. Massive attacks occur every six months, and penetration techniques and encryption algorithms are constantly improving. According to the Cyber-Kill Chain model, attackers successfully achieve their goal on the target machine.*

*The purpose of measures to neutralize unauthorized encryption of information in the system is to block its action at the beginning of work.*

*The authors propose to deploy in advance in information systems software samples that will allow timely identification of signs of the beginning of unauthorized encryption of information in systems.*

*The measures provide for the advance placement in systems of samples of special software that are able to implement "constant program monitoring" of processes in the system, stop the processor when signs of*

encryption are detected, namely: when the processor is overloaded, when suspicious processes are detected, when signs of the encryption algorithm are detected when important files disappear simultaneously, when an unauthorized system reboot is attempted, and other signs. The authors compare the cyber defense of systems without and with the proposed measures. The authors believe that the cyber defense of systems will increase to 0.99 depending on the effectiveness of the measures involved.

The conclusion of the article is that the advance placement of specialized software in systems will allow timely blocking of the ransomware virus and increase the security of systems.

Further directions of research will allow the dissemination of the proposed measures to neutralize the actions of various classes of cyber attacks, which were achieved according to the Cyber-Kill Chain model of the target machine.

**Key words:** ransomware virus, cyberattack, cyber defense, Cyber Kill Chain, information system.

## References

1. Extended Cyber-Kill Chain model and why it should be taken into account in the defense strategy. <https://habr.com/ru/company/panda/blog/327488/>
2. New time Protect yourself. Everything you need to know about the Petya.A virus. <https://nv.ua/ukr/techno/gadgets/zahisti-sebe-sam-vse-shcho-potribno-znati-pro-virus-petya-a-1392163.html>
3. Vesti Ukraine Everything we know about WannaCry and Petya.A. <https://vesti.ua/mir/244843-vse-cto-izvestno-o-virusе-wannacry-i->
4. Tech today Everything You Need to Know About Petya and How to Fight It. <https://techtoday.in.ua/ru/reviews-ru/vse-cto-nuzhno-znat-o-virusе-petya-kak-s-nim-borotsya-75861.html>
5. **Kotenko I.V.**, Saenko I.B., Doinikova E.V. (2013), Risk assessment in computer networks of critical infrastructures. [Otsenka riskov v kompyuternykh setyakh kriticheskikh infrastruktur], Novosibirsk, Innovatsii v nauke: zb. nauk. pr. / XVI mizhnar. nauk.-prakt. konf., Chast. I, SibAK, №16-1. pp. 84 - 88.
6. **Davidyuk A.V.**, Petrik V.M., (2018), Countering automated means of using social engineering. [Protidiya avtomatizovanim zasobam v ispol'zovanii sotsial'noy inzhenerii], Київ, Aktual'ni problemi upravlinnya informatsiynoyu bezpekoyu derzhavi: zb. tez nauk. dop. nauk. prakt. konf., Nats. akad. SBU, pp. 346 - 347.
7. **Korchenko A.**, Dreys YU., Roshchuk M., Romanenko O. (2018), Consequence evaluation model of leak the state secret from cyberattack directing on critical information infrastructure of the state. [Model' otsenki posledstviy utechki gosudarstvennoy tayny ot kiberataki, napravlennoy na kriticheskuyu informatsionnyu infrastrukturu gosudarstva], Ukr. nauch. zhur. inf. bez., vyp. 24, pp. 29-35.
8. **Shevchenko A.S.** (2018), Mechanisms for detecting cyber attacks based on Schuhart control charts. [Mekhanizmi viyavlennya kiberneticheskikh atak na osnovi kontrol'nikh kart Shukharta], Київ, Aktual'nyye problemy upravleniya informatsiynoyu bezpekoyu derzhavi: zb. tez nauk. dop. nauk.-prakt. konf., Nats. akad. SBU, pp. 186 - 189.
9. New dangerous encryption virus. <https://molbuk.ua/news/201684-fakhivci-znayshly-novyy-nebezpechnyy-virus-shyfruvalnyk.html>
10. Recommendations for the elimination of the effects of Petya.A virus. [Rekomendatsii po snizheniyu nasledovaniya virusu Petya.A], available at: <https://novynarnia.com/2018/11/17/cert-ua.html>.
11. **Kutsaêv V.V.**, Radchenko M.M. (2018), Methods for assessing the cyber security of information and telecommunications nodes. [Metodika otsinki kibernetichnoï zashchishchenostі informatsiyno-telekomunikatsiynogo vuzla], Київ, zb. nauk. pr. VÍTÍ. №2.
12. **Kutsaêv V.V.**, Kozubtsov Í.M. (2017), Expert assessments of system security by Saati method. [Yekspertni otsinki zashchishchenostі sistem metodom Saati], Київ, zb. nauk. pr. VÍTÍ, №3.
13. **Cherednichenko O.M.**, Kutsaêv V.V., Guk O.M., Shugalíy O.O., (2018), Analysis of cyber incidents on the territory of Ukraine and basic methods of cyber protection against them. [Analiz kiberneticheskikh infektsiy na teritorii Ukrainy i osnovnyye metody kibernetichnogo zarazheniya vid nikh], Київ, zb. nauk. pr. VÍTÍ, №3.

Микола Олександрович Масесов (кандидат технічних наук, с.н.с)<sup>1</sup>

Вадим Дмитрович Кротов<sup>1</sup>

Павло Вікторович Опенько (кандидат технічних наук, старший дослідник)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна

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

## АКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЧЕРГОЮ В ТАКТИЧНИХ РАДІОМЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Діяльність Збройних Сил характеризується специфічними вимогами до інформації, до засобів зв'язку та передачі даних. Аналіз сучасного світового досвіду показує, що успішне проведення військових операцій вимагає своєчасного комплексного інформаційного забезпечення бойових дій, що вже неможливе без впровадження сучасних інформаційних технологій.

Для забезпечення зв'язку в умовах впливу деструктивних зовнішніх чинників і відсутності традиційної телекомунікаційної інфраструктури потрібні мережі передачі інформації, що мають швидке розгортання, автономність електроживлення кожного вузла, високу живучість, здатність передачі інформації при випадкових процесах переміщення, знищення, включення і виключення вузлів. Все це можливо завдяки використанню мобільних Ad-Hoc мереж з децентралізованою структурою (Mobile Ad-Hoc Networks, MANET) [1, 2]. Основними перевагами побудови MANET є: реалізація децентралізованого управління компонентами мережі; відсутність фіксованих вузлів; здатність кожного вузла виконувати функції маршрутизатора. Завдяки вказаним перевагам мережі MANET мають перспективи застосування для забезпечення зв'язку в тактичній ланці управління, та забезпечать мобільним абонентам можливість безперервного і стійкого обміну інформацією під час знаходження в рухомих об'єктах (КШМ, бронетехніці, автомобілях) або переміщенні пішим порядком.

Проблема забезпечення якості обслуговування в Ad-Hoc мережах, була і залишається актуальною для розробників протоколів, мережевого устаткування і кінцевих користувачів. На всіх рівнях мережі активно використовуються механізми буферизації і управління чергою пакетів, в тому числі і адаптивні, покликані, з одного боку, обслуговувати сплески трафіку з мінімальними втратами пакетів, а з іншого, – забезпечити достатню смугу пропускання і прийнятні тимчасові затримки.

В статті досліджені процеси в тактичній радіомережі з розробленим нечітким регулятором на основі інтерактивної системи MATLAB. Мережа представлена замкненою системою автоматичного керування (системою з активним управлінням чергою) зі змінними параметрами (змінною кількістю комунікаційних каналів чи кількістю сесій TCP (Transmission Control Protocol)  $N(t)$  та часом проходження пакетів туди й назад  $R(t)$ ). Застосування розробленого нечіткого регулятора в тактичній радіомережі є ефективним, дозволяє утримувати поточну довжину черги, близькою до бажаної та ефективно швидкість передачі даних достатню для практичного використання.

**Ключові слова:** Ad-Hoc мережі; MATLAB; AQM-система; кількість сесій TCP.

### Вступ

Діяльність збройних сил характеризується специфічними, особливо жорсткими вимогами до інформації і до засобів зв'язку та передавання даних. Аналіз сучасного світового досвіду свідчить, що успішне проведення військових операцій вимагає своєчасного комплексного інформаційного забезпечення бойових дій, що вже неможливе без сучасних інформаційних технологій. Сьогодні наслідки неефективної роботи з інформацією – це втрати особового складу, озброєння та військової техніки, які значною мірою зумовлюють перемогу або поразку. Розвідка, аналіз, ухвалення рішення, доведення його до засобів ураження повинні виконуватися в реальному часі з мінімальними часовими витратами (це і є скорочення циклу управління).

Саме тому найважливішими напрямками в будівництві Збройних Сил України є створення нових перспективних і вдосконалення існуючих систем управління, пошук нових підходів до організації зв'язку.

Важлива роль відводиться тактичним радіомережам зв'язку (ТРМ), яка надає мобільним абонентам можливість безперервного і стійкого обміну інформацією під час руху (в КШМ, бронетехніці, автомобілях) або переміщенні пішим порядком.

**Постановка проблеми.** Завдяки високій живучості і розвідзахищеності, швидкого розгортання і можливості доставки інформації в умовах динамічної топології, технологія Ad-Hoc Networks має високі перспективи щодо побудови мобільних радіомереж тактичної ланки управління [3]. Але вплив мобільності вузлів

робить трафік MANET більше нестационарним, непередбачуваним, призводить до того, що у кожному каналі мережі спостерігається швидка зміна інтенсивності потоків і, відповідно, пропускної спроможності передачі даних [1, 2]. З урахуванням того що, окрім мобільності абонентів (вузлів), функціонування тактичних радіомереж ускладнюється впливом деструктивних чинників, можна пояснити той факт, що ТРМ схильна до каналних перевантажень, втрат пакетів, розривів з'єднань. Це тягне до істотного уповільнення передачі даних і зниження продуктивності ТРМ. Для підвищення продуктивності мереж традиційно застосовуються методи, які орієнтовані на забезпечення якості обслуговування (QoS). Під якістю обслуговування розуміють [4] інтегральний корисний ефект від обслуговування, який визначається ступенем задоволення користувача як від отриманої послуги, так і від самої системи обслуговування. Критерій якості обслуговування представляють у вигляді інтегрального показника досконалості обслуговування, що враховує не тільки якість послуги, але і здатність мережі обробляти навантаження.

Функції QoS полягають у забезпеченні гарантованого і диференційованого обслуговування трафіку мережі, за запитами тих чи інших додатків на основі різних механізмів розподілу ресурсів, обмеження інтенсивності трафіку, обробки черг і пріоритизації. QoS є набором вимог до ресурсів мережі при транспортуванні потоку даних. QoS забезпечує наскрізну гарантію передачі даних і заснований на системі правил, такими як механізм розподілу ресурсів, комутація, маршрутизація, механізми обслуговування черг і механізми відкидання пакетів.

Методи QoS спрямовані на поліпшення характеристик продуктивності і надійності мережі, ці методи дозволяють зменшити затримки, варіації затримок, а також втрати пакетів в моменти перевантаження мережі, створюючи тим самим необхідні умови для задовільного обслуговування трафіку. Тому впровадження удосконалених методів забезпечення QoS в контексті доцільності їх застосування в радіомережах тактичної ланки управління є актуальним науково-технічним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літератури показав, що методи забезпечення якості обслуговування використовують різні механізми, які спрямовані на зменшення негативних наслідків перебування пакетів в чергах із збереженням у той же час позитивної ролі черг. Розробці ефективних методів маршрутизації, у тому числі в MANET, присвячена велика кількість робіт [5-8].

У роботах [9-11] описані і проаналізовані лінеаризовані системи AQM з цими алгоритмами як системи автоматичного управління. Ці системи описані передавальними функціями з постійними параметрами, хоча реальні AQM системи є

системами з випадковими, стохастичними параметрами.

Серед засобів боротьби з мережевими перевантаженнями важливе місце займають методи активного управління чергами. Традиційно обробка перевантаження здійснюється через протокол TCP, який передає сигнал перевантаження, відкидаючи вхідні пакети, коли черга вузла переповнена і маршрутизатор переповнений (політика відкидання хвоста – TD). На відміну від традиційного управління чергою, яке починає відкидати вхідні пакети, тільки тоді, коли черга вже переповнена, при активному управлінні чергою (AQM) відкидання вхідних пакетів, здійснюється перш, ніж черга буде повна.

Метою протоколу TCP є установка наскрізного з'єднання, наскрізної доставки пакетів даних, управління потоком і управління перевантаженням. TCP використовує механізм управління потоком, який заснований на застосуванні вікон. Відправник підтримує змінний розмір вікна, який лімітує число можливих відправлених пакетів. Адресат відправляє підтвердження (ACK) для отриманих пакетів. Принцип вікна пакетної передачі змінної тривалості ґрунтується на тому, що коли вичерпується розмір вікна, відправник чекає ACK перш, ніж відправити новий пакет. Цей час очікування відомий як період простою для повторної передачі (RTO). Якщо не приходить ACK в продовж цього періоду RTO, то відправник припускає, що пакет втрачений. Втрата пакету вимагає TCP запускати механізм управління перевантаженням.

Тактичні радіомережі випробовують динамічні зміни в топології мережі завдяки довільної мобільності вузлів. Зміни топології призводять до частих змін підключення ліній радіозв'язку, і отже маршрути відновлення можуть повторюватися дуже часто. Цей процес відновлення маршруту займає значний час. Час відновлення маршруту є функцією дальності передачі вузлів, відстанню між джерелом і адресатом, числом проміжних вузлів між відправником і адресатом і вузловою швидкістю. Якщо час відновлення маршруту перевищує період RTO вузла, відправник не отримує ACK і припускає перевантаження в мережі, що супроводжується повторною передачею втрачених пакетів і ініціацією механізму управління перевантаженням. На рис.1 схематично показана переповнена тактична Ad-Нос радіомережа. Відправник відправляє пакети даних через вузол А, який передає ці пакети на вузол Б і той відправляє далі одержувачеві. Як тільки канал зв'язку між відправником і вузлом А втрачається, запускається процес відновлення маршруту і створюється прямий канал зв'язку з вузлом Б. Якщо час обробки менший, ніж RTO, то відправник отримує ACK і відправляє інші пакети даних, інакше повторно відправляє попередні втрачені пакети.



Рис. 1. Перевантаження в тактичних радіомережах

Тактичні радіомережі зазнають високе мережеве перевантаження через високий коефіцієнт швидкості бітових помилок (BER) у безпроводному каналі, підвищуються конфлікти через присутність прихованих терміналів, інтерференції, знаходження залежного з'єднання, односпрямованих посилянь, пошкоджень маршруту через мобільність вузлів і мінливим властивостям безпроводного каналу. Це обґрунтовує потребу в адаптивних AQM алгоритмах з можливостями до високої мінливості і невизначеності притаманних цим типам мереж. Нечітке активне управління чергою може подолати вищезгаданий недолік тактичних мереж.

Коли з'являється перевантаження, вузол використовує одну із стратегій AQM, відкидаючи вхідні пакети даних. Тим часом це дозволяє пакетам управління, проходити в чергу, використовуючи політику відкидання хвоста. Внаслідок цього, пакети даних відкидаються першими, коли вірогідність відкидання пакетів перевищує певний поріг, тоді як пакети управління ще допущені, поки черга не повна.

Повідомлення управління переважно передаються в чергу під час перевантаження з наступних причин: 1. Повідомлення управління використовуються, щоб відновити зміни топології мережі. Тому, вони запобігають передачі пакету даних, через пошкоджені маршрути. 2. Пакети даних являються "орієнтовані на з'єднання", тобто, з гарантованою доставкою до місця призначення через TCP. І навпроти, повідомлення управління являються "без встановлення з'єднання"; тобто, відкинута повідомлення не передаватиметься повторно. 3. Розмір повідомлення управління є дуже маленьким в порівнянні з пакетом даних. Зазвичай у Ad-Нос протоколах маршрутизації, розмір повідомлення управління складає 64 байти, тоді як пакет даних складає 512 байти, тобто, повідомлення управління бере невеликий простір в черзі і швидше обробляється на вузлу.

У роботі [12] використовується нечітка логічна система для обчислення вірогідності відкидання у Ad-Нос мережах на підставі поточного розміру черги і кількості сусідніх вузлів.

Ця схема може бути застосовна у будь-якій мережі, де кількість сусідніх вузлів представлена як кількість комунікаційних каналів зв'язку або, точніше, кількість сесій TCP.

Поточний розмір черги  $q_c$  є основною ознакою

оцінки вірогідності відкидання вхідних пакетів в політиці AQM. Вірогідність відкидання  $p_d$  обчислюється як:  $p_d = 2N^2 / (CT_p + q_c)^2$ , де  $N$  – коефіцієнт навантаження,  $C$  – пропускна спроможність (пакети/сек.), і  $T_p$  – затримка передачі (секунди). Вірогідність відкидання пакету підвищується зі збільшенням навантаження. Зі збільшенням навантаження зростає і кількість пакетів в черзі, які очікують обробки. Таким чином, при збільшенні черги, вірогідність відкидання вхідних пакетів також висока і навпаки. Отже, можна припустити наступні правила:

Правило 1: Якщо  $q_c$  низький, то  $p_d$  – низька.

Правило 2: Якщо  $q_c$  середній, то  $p_d$  – середня.

Правило 3: Якщо  $q_c$  великий, то  $p_d$  – висока.

В тактичних радіомережах, трафік розподіляється по категоріях: пакети даних і повідомлення управління. Повідомлення управління використовуються для безперервного оновлення вузлів при зміні топології (новостворювані або втрачені канали зв'язку). Наприклад, якщо у вузла є два сусідні вузли, то кожен секунду він отримуватиме від них два привітальних повідомлення. Окрім цього, він отримує запит маршруту, повідомлення про ушкодження маршруту або пакети даних. А якщо у вузла десять сусідніх вузлів, то він отримує кожен секунду по десять привітальних повідомлень разом з величезною кількістю повідомлень управління і пакетів даних. Отже, трафік менше проходить через вузли з меншим оточенням, ніж через вузли з великим оточенням.

Навантаження  $N$  може бути записане як:  $N = \sum_{i=0}^n \lambda_i$ ,

де  $\lambda_i$  – швидкість потоку від сусіднього вузла  $i$ , та  $n$  – число сусідів. Звідси перевантаження:  $p_d = 1$

якщо  $N = \sum_{i=0}^n \lambda_i \geq C$  і  $q_c = q_m$ , де  $q_m$  – максимальний

розмір черги. Отже, при високій концентрації сусідів вузла, черга вузла швидко наповнюється, що веде до збільшення вірогідності перевантаження і навпаки.

**Метою статті** є дослідження процесів в тактичній радіомережі з розробленим нечітким регулятором, як замкнутої AQM системи з випадково змінними параметрами навантаження трафіку (випадковій зміні кількості сесій TCP  $N(t)$ ) і випадковій зміні часу проходження пакетів по колу  $R(t)$  на основі інтерактивної системи MATLAB.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Оскільки кількість сусідніх вузлів (щільність (концентрація) сусідів) представлено кількістю комунікаційних каналів зв'язку або, точніше, кількістю сесій TCP, то можна використати загальну схему AQM системи, яка скоректована нечітким регулятором (рис. 2), де  $N(t)$  – кількість

сесій, і прийняти, що на нечіткий регулятор в якийсь момент часу з кроком квантування  $h$  поступають наступні входні змінні: помилка  $e \equiv Error$  між заданою довжиною черги і реальною довжиною черги ( $e = \delta q = q_0 - q$ ) і швидкість зміни цієї помилки (у практичній схемі нечіткого регулятора замість швидкості використовується перша різниця від змінної “помилка” –  $\Delta e$ ).

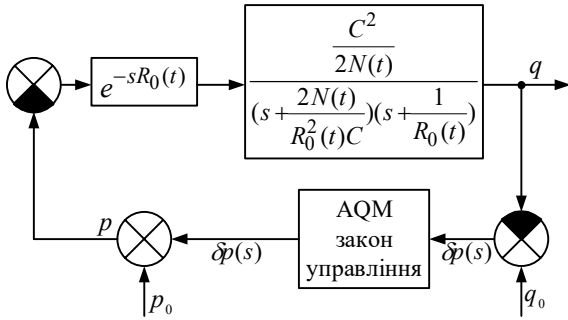


Рис.2. Загальна схема AQM системи, яка скоректована нечітким регулятором

Функції приналежності двох входних лінгвістичних змінних (помилки  $e \equiv Error$  між заданою довжиною черги і реальною довжиною черги і швидкості зміни цієї помилки  $\Delta e$ ) і вихідної лінгвістичної змінної (вірогідність відкидання пакетів) приймемо ідентичними і такими, як приведені на рис.3.

Функції приналежності (ФП) для кожної лінгвістичної величини визначаються по формулах (див. рис. 3):

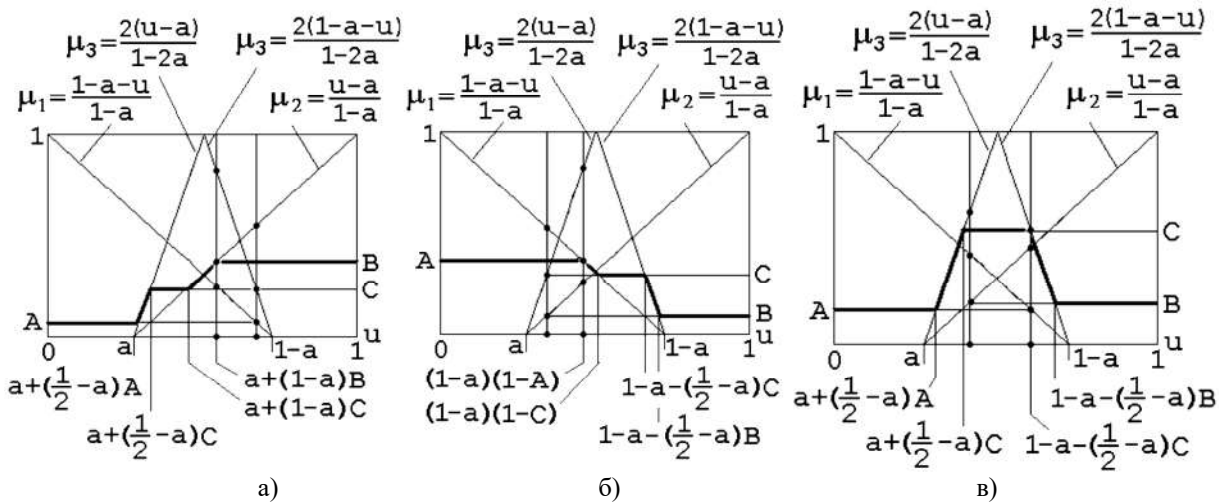


Рис. 3. Функції приналежності для входних і вихідних змінних

Абсциса “центру тяжіння результуючої фігури” при  $A \leq C \leq B$  визначається по формулі [13]

$$u_c = \frac{\frac{B}{2} + \frac{a^2}{2}(A-B) + (\frac{a}{4} - \frac{a^2}{2})A^2 - (\frac{a}{2} - \frac{a^2}{2})B^2 + \frac{a}{4}C^2 + \frac{1}{6}[(\frac{1}{2}-a)^2 A^3 - (1-a)^2 B^3 + (\frac{3}{4}-a)C^3]}{B + a(A-B) + (\frac{1}{4} - \frac{a}{2})A^2 + (\frac{a}{2} - \frac{1}{2})B^2 + \frac{1}{4}C^2} \quad (2)$$

Абсциса “центру тяжіння результуючої фігури”

$$\mu_1(u) = \begin{cases} \frac{1-a-u}{1-a}, & 0 \leq u \leq 1-a; \\ 0, & 1-a \leq u \leq 1; \end{cases} \quad \mu_2(u) = \begin{cases} 0, & 0 \leq u \leq a; \\ \frac{u-a}{1-a}, & a \leq u \leq 1; \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_3(u) = \begin{cases} \frac{2(u-a)}{1-2a}, & a \leq u \leq 1/2; \\ \frac{2(1-a-u)}{1-2a}, & 1/2 \leq u \leq 1-a; \\ 0, & 0 \leq u \leq a \text{ у } 1-a \leq u \leq 1. \end{cases}$$

При цьому функція  $\mu_1(u)$  визначає терм низька, функція  $\mu_2(u)$  визначає терм висока, а функція  $\mu_3(u)$  визначає терм середня.

Здійснюється перерахунок входних змінних в змінні  $u_1^*$ ,  $u_2^*$  на універсальній множині  $U = [0, 1]$ , а потім розрахунок значень ФП для цих змінних (див. рис.3). Точками на універсальній множині відмічені можливі для якогось моменту часу значення змінних  $u_1^*$ ,  $u_2^*$ .

Які б значення не приймали змінні  $u_1^*$ ,  $u_2^*$  на універсальній множині  $U = [0, 1]$ , залежно від співвідношень величин А, В і С “результуюча фігура” може приймати тільки три конфігурації: при  $A \leq C \leq B$  перша конфігурація зображена на рис. 3а; при  $A \geq C \geq B$  друга конфігурація зображена на рис. 3б; при  $\begin{cases} A \leq B \leq C \\ B \leq A \leq C \end{cases}$  третя конфігурація зображена на рис. 3в.

при  $A \geq C \geq B$  визначається по формулі [13]

$$u_c = \frac{\frac{A}{2} + (a - \frac{a^2}{2})(B-A) - \frac{1}{2}(1-a)^2 A^2 + (\frac{1}{4} - \frac{3a}{4} + \frac{a^2}{2})B^2 + \frac{1}{4}(1-a)C^2 + \frac{1}{6}[(1-a)^2 A^3 - (\frac{1}{2}-a)^2 B^3 + (\frac{3}{4}-a)C^3]}{A + a(B-A) + (\frac{1}{4} - \frac{a}{2})B^2 + (\frac{a}{2} - \frac{1}{2})A^2 + \frac{1}{4}C^2} \quad (3)$$



Абсциса “центру тяжіння результуючої фігури” при  $\begin{cases} A \leq B \leq C \\ B \leq A \leq C \end{cases}$  визначається по формулі [13]

$$u_c = \frac{\frac{a^2}{2}A + (a - \frac{a^2}{2})B + (\frac{1}{2} - a)C + (\frac{a}{4} - \frac{a^2}{2})A^2 + (\frac{1}{4} - \frac{3a}{4} + \frac{a^2}{2})B^2 - (\frac{1}{4} - \frac{a}{2})C^2 + \frac{1}{6}(\frac{1}{2} - a)^2(A^3 - B^3)}{C + a(A + B - 2C) + (\frac{1}{4} - \frac{a}{2})(A^2 + B^2 - 2C^2)} \quad (4)$$

Відмітимо, що при фіксованих  $A, B$  і  $a$  величина  $C$  має чітко певне значення. Якщо  $A \leq B$ , то величина  $C$  визначається з наступних співвідношень:

$$\mu_1 = \frac{1 - a - u^*}{1 - a} = A; \quad u^* = (1 - a)(1 - A); \quad (5)$$

$$\mu_3 = C = \frac{2(1 - a - u^*)}{1 - 2a} = \frac{2(1 - a)A}{1 - 2a}.$$

Якщо  $A \geq B$ , то величина  $C$  визначається з наступних співвідношень:

$$\mu_2 = \frac{u^* - a}{1 - a} = B; \quad u^* = a + (1 - a)B; \quad (6)$$

$$\mu_3 = C = \frac{2(u^* - a)}{1 - 2a} = \frac{2(1 - a)B}{1 - 2a}.$$

Як приклад приведемо наступні результати розрахунків (контрольні точки).

- При  $A=0,1, B=0,4, C=0,3, a=0,25 \Rightarrow u_c=0,6158$ .
- При  $A=0,4, B=0,1, C=0,3, a=0,25 \Rightarrow u_c=0,3842$ .
- При  $A=0,1, B=0,2, C=0,3, a=0,25 \Rightarrow u_c=0,5491$ .
- При  $A=0,2, B=0,1, C=0,3, a=0,25 \Rightarrow u_c=0,4509$ .

Розглянемо нечіткий регулятор, виконаний за структурною схемою, яку представимо у вигляді послідовного з'єднання трьох блоків (див. рис. 4) [13]: формувача величин  $A(t), B(t)$  і  $C(t)$  (блок 1), блоку порівняння величин  $A, B$  і  $C$  і розрахунку  $u_c$  (блок 2) і блоку нормування вихідний змінної (блок 3).

На вхід регулятора поступає помилка системи  $\theta = Error$ , а швидкість зміни (перша похідна) помилки  $\dot{\theta}$  обчислюється у формувачі за формулою

$$\dot{\theta}(t) \approx \{\theta(kh) - \theta[(k-1)h]\} / h, \quad (7)$$

де  $h$  – крок квантування (крок надходження інформації на вхід регулятора).

Окрім основних блоків, регулятор має інтегруючу ланку (Integrator), яка включена з метою забезпечення в замкнутій системі більш високої точності у встановленому динамічному режимі опрацювання вхідного сигналу (тобто забезпечення меншої динамічної помилки при надходженні заданої довжини черги  $q_0$ ), і пропорційну ланку (Gain) з малим коефіцієнтом передачі  $alf0$ .

Формувач величин  $A, B$  і  $C$  (блок 1 на рис.4) с трикутними функціями приналежності виконаний за схемою, приведеною на рис. 5. У схемі формувача величин  $A(t), B(t)$  і  $C(t)$  при налаштуванні нечіткого регулятора

перелаштовуються граничні значення симетричних діапазонів

$$A_m = \theta_{\max} = -\theta_{\min}, \quad B_m = \dot{\theta}_{\max} = -\dot{\theta}_{\min} \quad (8)$$

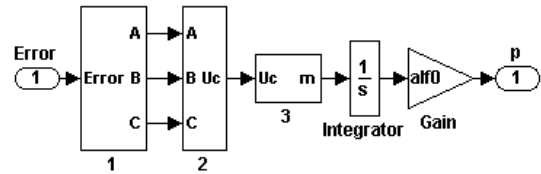


Рис.4. Структурна схема нечіткого регулятора

У блоці нормування вихідної змінної перебудовуються граничні значення діапазону  $D_m = m_{\max} = -m_{\min}$ . Коефіцієнт  $a$  зазвичай задається постійним.

У формувачі величин  $A(t)$  і  $B(t)$  помилка системи ( $Error$ )  $\theta^*$  квантується АЦП (Zero-Order Hold), обчислюються перша  $\dot{\theta}^*$  різниця від помилки з кроком квантування  $h$ , і значення вхідних змінних  $\theta^*, \dot{\theta}^*$  перераховуються в змінні  $u_1^*, u_2^*$  за формулами

$$u_1^* = (\theta^* + A_m) / (2A_m); \quad u_2^* = (\dot{\theta}^* + B_m) / (2B_m) \quad (9)$$

Проводиться розрахунок значень вхідних функцій приналежності для змінних  $u_1^*, u_2^*$  і на основі алгоритму Мамдани визначаються величини  $A, B$  і  $C$  за формулами:

$$A = \min[\mu_1(u_1^*), \mu_1(u_2^*)]$$

$$B = \min[\mu_2(u_1^*), \mu_2(u_2^*)] \quad (10)$$

$$C = \min[\mu_3(u_1^*), \mu_3(u_2^*)]$$

Значення  $A, B$  і  $C$  відкладаються відповідним чином на такі ж вихідні функції приналежності і проводиться розрахунок ненормованого виходу регулятора за формулами (2)-(4) у блоці порівняння величин  $A(t)$  і  $B(t)$  і розрахунку  $u_c$ . Слід зазначити, що блок порівняння реалізує обчислення ненормованого виходу регулятора  $u_c$  для вихідних функцій приналежності, які ідентичні *вхідним*.

Далі отримане значення  $u_c$  у блоці нормування вихідної змінної перераховується у вихідну напругу регулятора за формулою  $m^* = m_{\min}(1 - 2u_c) = 2D_m u_c - D_m$  [13].

Для цього нечіткого регулятора з ідентичними вхідними і вихідними трикутними функціями приналежності (див. рис.2) блок порівняння величин  $A(t), B(t)$  і  $C(t)$  і розрахунку  $u_c$  (блок 2 на рис. 4) показаний на рис. 6 (а), в, а блок перерахунку величини  $u_c$  у змінну  $m$  (блок 3 на рис. 4) показаний на рис.6 (б). Нечіткий регулятор налаштовується на мінімальну динамічну помилку  $\theta(t) = q_0 - q(t)$ . Крок квантування (крок надходження даних в нечіткий регулятор)  $h=0,01$  с.

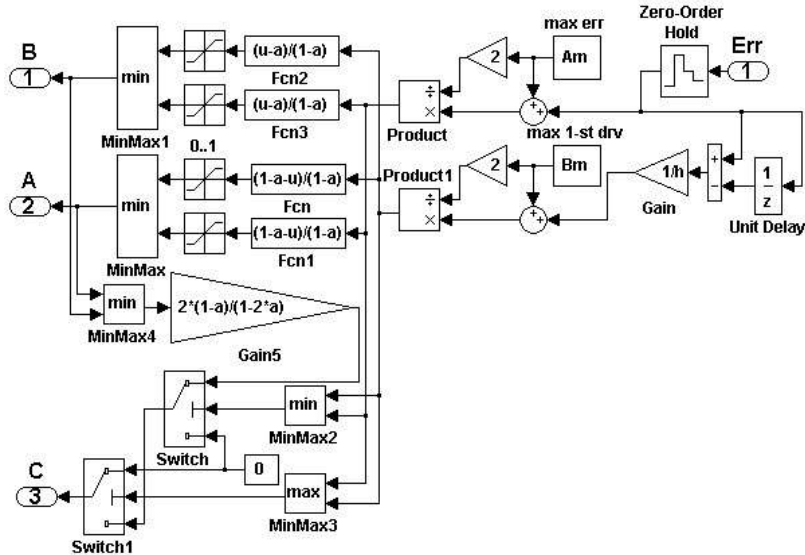


Рис. 5. Формувач величин A, B і C

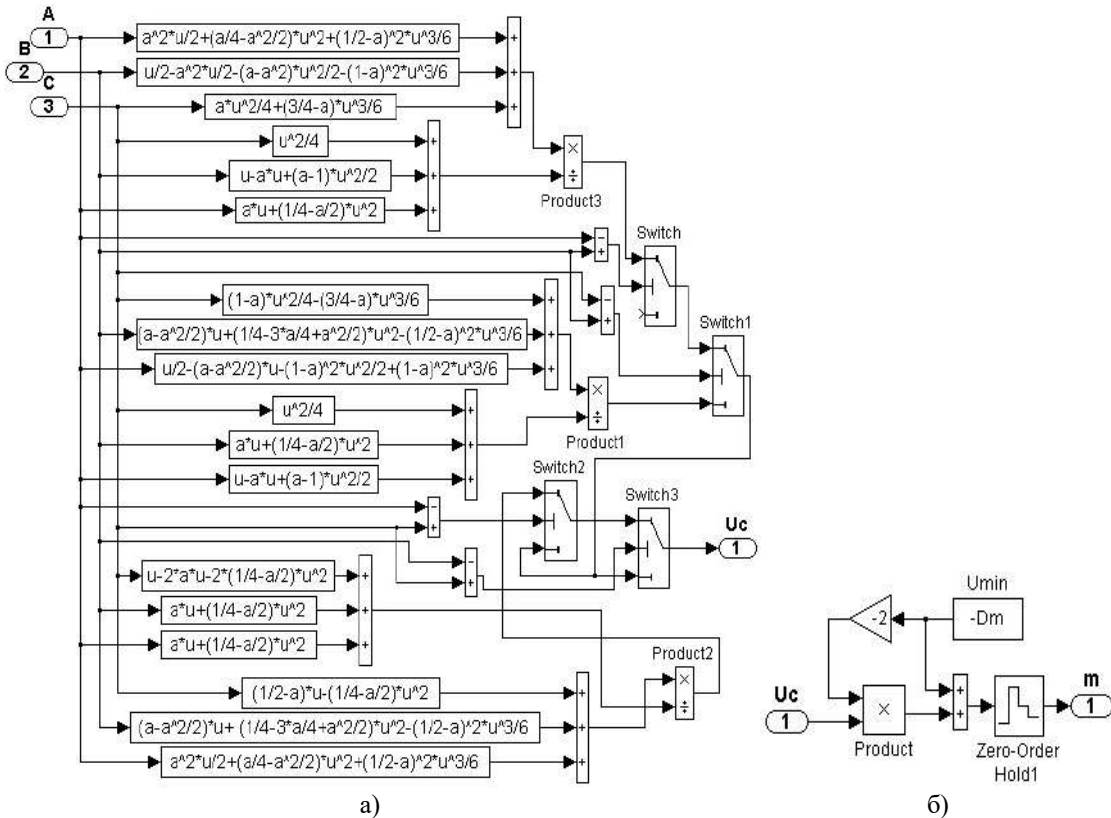


Рис. 6. Блок порівняння величин  $A(t)$ ,  $B(t)$  і  $C(t)$  і розрахунку  $u_c$  (а) і блок перерахунку величини  $u_c$  у змінну  $m$  (б)

Блок порівняння величин  $A(t)$ ,  $B(t)$  і  $C(t)$  і розрахунку  $u_c$  (блок 2 на рис. 4) працює таким чином. На виході подільника Product3 в схемі (див. рис. 6) формується величина  $u_c$  на підставі формули (2) при  $A \leq C \leq B$ . На виході подільника Product1 формується величина  $u_c$  на підставі формули (3) при  $A \geq C \geq B$ . На виході подільника Product2 формується величина  $u_c$  на підставі формули (4) при  $\begin{cases} A \leq B \leq C \\ B \leq A \leq C \end{cases}$ .

Перемикачі Switch і Switch1 замикають верхні контакти за умови  $A \leq C \leq B$ , коли на середніх контактах цих перемикачів сигнали позитивні (у блоках Switch і Switch1 параметр Threshold=0,000001). За умови  $A \geq C \geq B$ , коли на середніх контактах перемикачів Switch і Switch1 сигнали негативні, перемикачі замикають нижні контакти.

Перемикачі Switch2 і Switch3 замикають верхні контакти за умови  $\begin{cases} A \leq B \leq C \\ B \leq A \leq C \end{cases}$ , коли на середніх

контактах цих перемикачів сигнали позитивні (у блоках Switch2 і Switch3 параметр Threshold=0,000001).

За умови  $A \leq C \leq B$ , коли на середньому контакті перемикача Switch2 сигнал позитивний, а на середньому контакті перемикача Switch3 сигнал негативний, то в перемикачі Switch2 замкнуться верхній контакт, а в перемикачі Switch3 замкнуться нижній контакт.

За умови  $A \geq C \geq B$ , коли на середньому контакті перемикача Switch3 сигнал позитивний, а на середньому контакті перемикача Switch2 сигнал негативний, то в перемикачі Switch3 замкнуться верхній контакт, а в перемикачі Switch2 замкнуться нижній контакт.

Таким чином, за умови  $A \leq C \leq B$  сигнал на вихід схеми поступає з виходу подільника Product3, за умови  $A \geq C \geq B$  сигнал на вихід схеми поступає з виходу дільника Product1 і за умови

$\begin{cases} A \leq B \leq C \\ B \leq A \leq C \end{cases}$  сигнал на вихід схеми поступає

з виходу дільника Product2.

В інтерактивній системі MATLAB можна представити модель об'єкту управління з'єднанням ланок, що змінюються випадковим чином, з параметрами  $N(t)$  та  $R_o(t)$  і принципову схему AQM системи, яка скорегована нечітким

регулятором, на підставі структурної схеми (див. рис. 2) зобразити у вигляді рис. 7.

Додавання декількох вимірювальних елементів в принципову схему, яка представлена на рис. 7, дає можливість отримати розмір вікна  $W$  (у пакетах), а також ефективну швидкість передачі даних  $V(t)=W(t)/R$  (пакети/сек), тобто величини, по яким кінцевий споживач оцінює якість каналу зв'язку.

Підсилювальна ланка  $C^2/2/N(t)$  моделюється блоками підсилювачем Gain1 і подільником Product1, на верхній вхід якого поступає сигнал  $N(t)$  (рис. 7). Аперіодична ланка  $[s + 2N(t) / R_o^2(t) / C]$  моделюється інтегратором Integrator, що охоплений негативним зворотним зв'язком, який вмикає помножувач Product, на нижній вхід якого поступає сигнал  $N(t)$ , подільник Product4, на верхній вхід якого поступає сигнал  $R_o^2(t)$  і підсилювач Gain2 з коефіцієнтом  $2/C$ .

Аперіодична ланка  $[s + 1 / R_o(t)]$  моделюється інтегратором Integrator1, що охоплений негативним зворотним зв'язком, який вмикає подільник Product2, на верхній вхід якого поступає сигнал  $R_o(t)$  і підсилювач Gain4 з коефіцієнтом, що дорівнює одиниці.

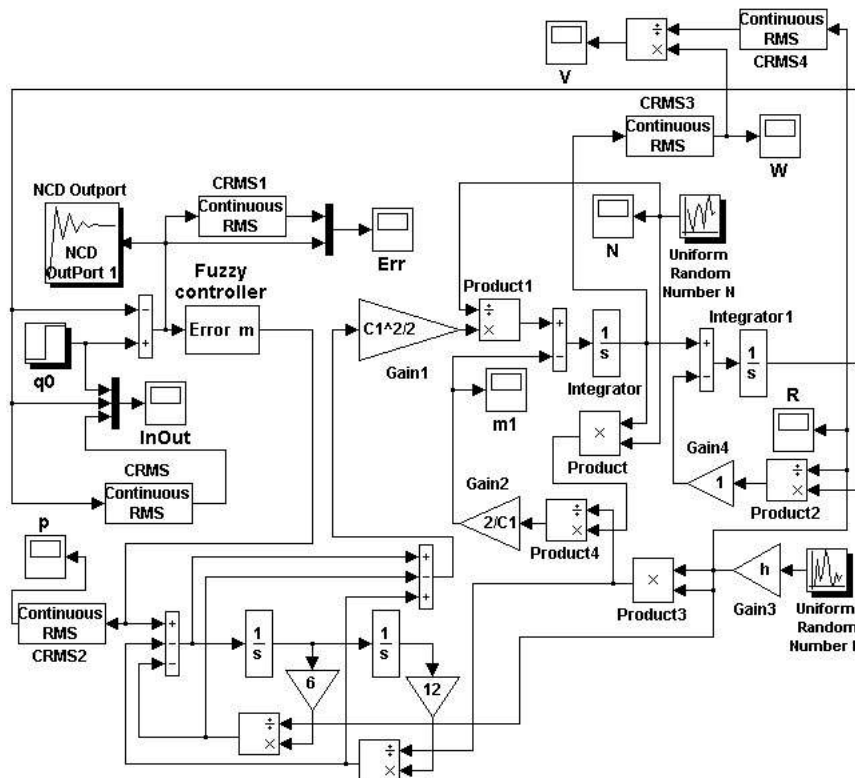


Рис. 7. Модель AQM системи, яка скорегована нечітким регулятором з додатковими вимірювальними елементами

Ланка чистого запізнення при апроксимації функцією Паде другого порядку моделюється за допомогою двох інтеграторів, двох підсилювачів з коефіцієнтами 6 та 12 і двох подільників на верхні входи яких поступають сигнали  $R_o(t)$  і  $R_o^2(t)$ .

$$e^{-sR_o(t)} \approx \frac{s^2 - \frac{6}{R_o(t)}s + \frac{12}{R_o^2(t)}}{s^2 + \frac{6}{R_o(t)}s + \frac{12}{R_o^2(t)}} \quad (11)$$

Відзначимо, що при налаштуванні нечіткого

регулятора в інтерактивній системі MATLAB можна використати блок NCD (Nonlinear Control Design), який реалізує метод динамічної оптимізації для проектування систем управління. Цей інструмент, який розроблений для використання з Simulink, автоматично настроює системні параметри (у системі на рис. 7 налаштовуються параметри регулятора), який ґрунтується на певних обмеженнях на тимчасові характеристики (наприклад, час регулювання реакції на поетапний вплив) або межі динамічної помилки неузгодженості.

Припустимо, що час проходження пакетів туди і назад  $R_o(t)$  змінюється випадковим чином в межах від 220 мсек до 300 мсек, а навантаження трафіку  $N(t)$  змінюється також випадковим чином в межах від 5 до 25. Такі “впливи” на систему (див. рис. 7) можуть генерувати, в інтерактивній системі MATLAB, блоки Uniform Random Number. Відмітимо, що в реальних мережах і час проходження пакетів туди і назад, і навантаження трафіку може змінюватися випадковим чином в різних межах, але для порівняння роботи регулятора обрані “впливи”, які представлені на рис. 8.

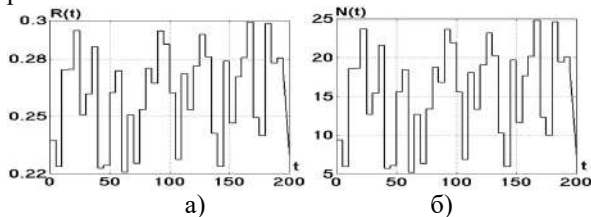


Рис. 8. Час проходження пакетів туди і назад  $R_o(t)$  (а) та навантаження трафіку  $N(t)$  (б)

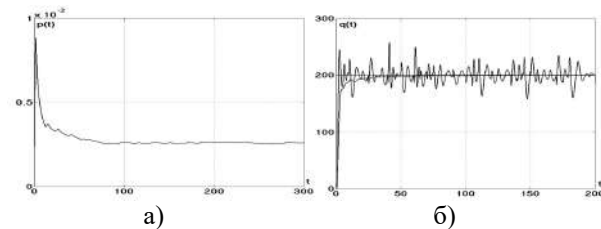


Рис. 9. Вірогідність відкидання/маркування пакетів  $p(t)$  і поточна довжина черги  $q(t)$  з нечітким регулятором

Пропускную спроможність мережі оберемо рівною  $C=3750$  пакетів/сек, а бажану довжину черги прийемо рівною  $q_0=200$  пакетів.

Процеси в AQM системі з нечітким регулятором, були отримані при наступних параметрах регулятора:  $h=0,01c$ ;  $alf0=10^{-5}$ ;  $Am=1100$ ;  $Bm=980$ ;  $Dm=2200$ ;  $a=0,25$ .

На рис. 9 приведені вихідна змінна FC-регулятора  $p(t)$  – вірогідність відкидання/маркування пакетів з виходу блоку CRMS2 (а) і вихід системи  $q(t)$  – поточна довжина черги (б) при вказаних параметрах регулятора. Зміни розміру вікна TCP  $W(t)$  представлені на рис. 10: на рисунку (а) функція  $W(t)$  знята безпосередньо, а на рисунку (б) – на виході блоку CRMS3. Зміни ефективної швидкості передачі даних  $V(t)$  представлені на рис. 11: на рисунку (а) функція  $V(t)$  знята безпосередньо, як результат поділення

функцій  $W(t)/R(t)$ , а на рисунку (б) – як результат поділення функцій  $W(t)/R(t)$  з виходів блоків CRMS3 і CRMS4.

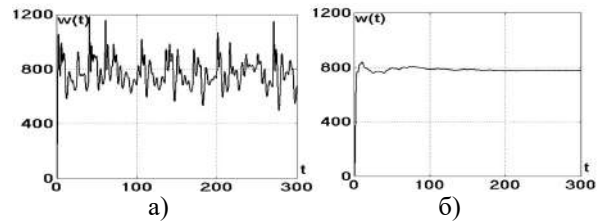


Рис. 10. Зміни розміру вікна TCP

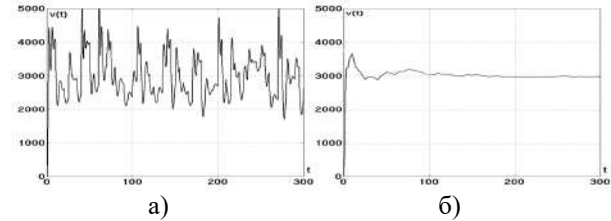


Рис. 11. Ефективна швидкість передачі даних

У інтерактивній системі MATLAB блок CRMS обчислює значення кореня (root mean squared value) з суми квадратів квантованої змінної  $u(t)$ , яка усереднена за інтервал спостереження:

$$J = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{v=0}^{L-1} u_v^2}, \quad (12)$$

де  $L$  – інтервал спостереження, а  $u_v, v=0,1,2,\dots,L-1$  – значення змінної  $u(t)$ , що квантовані кроком  $h$ .

З осцилограм зрозуміло, що середнє значення вірогідності відкидання/маркування пакетів  $p(t)$  досить мале – приблизно  $2,5 \cdot 10^{-3}$  і у встановленому режимі, поточна довжина черги встановлюється з високою точністю рівною 200 пакетам (см рис. 9). Встановлене значення розміру вікна TCP приблизно дорівнює 800 пакетів (см рис. 10), а ефективна швидкість передачі даних (см рис. 11) приблизно дорівнює 3000 пакетам в секунду (що при розмірі пакету у 512 байт рівна  $512 \times 8 \times 3000 = 12,228$  Мбіт/с).

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Імітаційне моделювання є базовим засобом розробки телекомунікаційних мереж, що дозволяє оцінити характеристики і обрати параметри налаштування маршрутизації і передачі даних для безпроводових мобільних мереж.

На даний час розроблена значна кількість методів підвищення та забезпечення QoS в телекомунікаційних мережах, але в мобільних радіомережах реалізація далеко не усіх теоретично обґрунтованих управлінських рішень, є доцільною. Методи, які застосовуються в традиційних безпроводових (або проводових) мережах не ефективно використовувати в мобільних радіомережах, зважаючи на відмінності характеристик цих мереж. У основі ряду методів використовуються цікаві ідеї, застосування яких могло б підвищити ефективність управління інтенсивністю потоків даних в мобільних радіомережах. Проте в ТРМ реалізація цих ідей

неприйнятна, тому що ґрунтуючись на досить грубих, наближених моделях, що не сприяє ухваленню адекватних рішень в умовах впливу мобільності абонентів і деструктивних чинників.

При цьому застосування розробленого нечіткого регулятора, який працює з протоколом TCP в тактичних радіомережах, є ефективним засобом, тому що дозволяє утримувати поточну

довжину черги, близько до бажаної, при високій швидкодії і достатній ефективній швидкості передачі даних.

Подальша робота спрямована на розробку методів оцінювання трафіка та підтримки маршрутів передачі даних в тактичних радіомережах.

### **Література**

**1. Mohit K., Rashmi M.** An overview of MANET: History, Challenges and Applications. *Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSSE)*. 2012. Vol. 3, No 1. pp. 121–125. **2. Basagni S., Conti M., Giordano S., Stojmenovic I.** Mobile ad hoc networking. *Wiley-IEEE Press*, 2004. 461 p. **3. Разгуляев Л.** Перспективные мобильные адаптивные сети передачи информации для СВ США. *Зарубежное военное обозрение*. 2008. № 1. С. 35–39. URL: <http://pentagonus.ru/publ/11-1-0-567> **4. Кучерявый Е.** Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. *Наука и техника*. 2004. – 336 с. **5. Devaraj S.A., Anita R.H.V., Christa J.J.** Comparative analysis of random based mobility models using TCP variant in MANETs. *Proceeding of the Sivakasi International Conference Communication and Network Technologies (ICCNT-2014)*. 2014. P. 324–329. **6. Tseng Y., Li Y., Chang Y.** On Route Lifetime in Multihop Mobile Ad-Hoc Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. 2003. vol. 2, No 4, pp. 366-376. **7. Ying Ge, Thomas Kunz and Louise Lamont** Quality of Service Routing in Ad-Hoc Networks Using OLSR. *Proceeding of the 36th Hawaii International Conference on System Science (HICSS'03)*. **8. Liao W.H.** A Multi-Path

QoS Routing Protocol in a Wireless Mobile Ad Hoc Network. *IEEE ICN*. 2001. **9. Hollot C., Misra V., Towsley D., Gong W.** A Control Theoretic Analysis of RED. *Proceedings of IEEE INFOCOM 2001*. 2001. vol. 3. pp. 1510-1519. **10. Hollot C., Misra V., Towsley D., Gong W.** Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows. *IEEE/ACM Transactions on Automatic Control*. 2002. vol. 47, No 6. pp. 945–959. **11. Hollot C., Misra V., Towsley D., Gong W.** On Designing Improved Controllers for Routers Supporting TCP Flows. *Proceedings of IEEE INFOCOM'2001*. 2001. pp. 1726–1734. **12. Natshah E., Jantan A.B., Khatun S., Subramaniam S.** Fuzzy Active Queue Management for Congestion Control in Wireless Ad-Hoc. *The International Arab Journal of Information Technology*. 2007, Vol. 4, No. 1, pp. 50-59. **13. Гостев В. И.** Проективання нечітких регуляторів для систем автоматичного управління. БХВ-Петербург, 2011. 416 с. **14. Гостев В.И., Кротов В.Д.** Порівняльний аналіз алгоритмів управління чергою при змінних параметрах TCP/IP мереж. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2015. № 3. С. 31-37. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo\\_2015\\_3\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2015_3_7).

## **АКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОЧЕРЕДЬЮ В ТАКТИЧЕСКИХ РАДИОСЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

*Николай Александрович Масесов (кандидат технических наук, с.н.с.)<sup>1</sup>*

*Вадим Дмитриевич Кротов<sup>1</sup>*

*Павел Викторович Опенько (кандидат технических наук, старший исследователь)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Военный институт телекоммуникаций и информатизации имени Героев Крут, Киев, Украина*

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

*Деятельность Вооруженных Сил характеризуется специфическими требованиями к информации, к средствам связи и передачи данных. Анализ современного мирового опыта показывает, что успешное проведение военных операций требует своевременного комплексного информационного обеспечения боевых действий, уже невозможно без применения современных информационных технологий.*

*Для обеспечения связи в условиях воздействия деструктивных внешних факторов и отсутствия традиционной телекоммуникационной инфраструктуры нужны сети передачи информации, обладающие быстрым развертыванием, автономностью электропитания узлов сети, высокой живучестью, способностью доставлять сообщения при динамически изменяющейся топологии (случайных процессах перемещения, уничтожения, включение и выключение узлов сети). Достичь таких возможностей можно на основе создания беспроводных самоорганизующихся сетей (MANET), имеющих децентрализованную изменяемую структуру. Основными преимуществами построения таких сетей являются: реализация децентрализованного управления компонентами сети; отсутствие фиксированных узлов способность каждого узла выполнять функции маршрутизатора. Благодаря указанным преимуществам сети MANET имеют перспективы применения для обеспечения связи в тактическом звене управления, и обеспечат мобильным абонентам непрерывный и устойчивый обмен информацией во время передвижения на технике (КШМ, бронетехнике, автомобилях) или пешим порядком.*

*Проблема обеспечения качества обслуживания в Ad-Hoc сетях, была и остается актуальной для разработчиков протоколов, сетевого оборудования и конечных пользователей. На всех уровнях сети активно используются механизмы буферизации и управления очередью пакетов, в том числе и адаптивные, которые призваны, с одной стороны, обслуживать всплески трафика с минимальными потерями пакетов, а с другой – обеспечить достаточную полосу пропускания и приемлемые временные задержки.*

*В статье исследованы процессы в тактической радиосети с разработанным нечетким регулятором на основе интерактивной системы MATLAB. Сеть представлена замкнутой системой*

автоматического управления (системой с активным управлением очередью) с переменными параметрами (переменным числом коммуникационных каналов или числом сессий TCP  $N(t)$  и время прохождения пакетов туда и обратно  $R(t)$ ). Применение разработанного нечеткого регулятора в тактической радиосети является эффективным, позволяет удерживать текущую длину очереди, близкой к желаемой и эффективную практическую скорость передачи данных.

**Ключевые слова:** Ad-Hoc сети, MATLAB, AQM-система, число сессий TCP

## FUZZY LOGIC BASED ACTIVE QUEUE MANAGEMENT IN TACTICAL RADIO NETWORKS

*Mykola Masesov (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)<sup>1</sup>*

*Vadym Krotov<sup>1</sup>*

*Pavlo Open'ko (Candidate of Technical Sciences, senior researcher)<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Military Institute of Telecommunications and Informatization named after Heroes Krut, Kiev, Ukraine*

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

*In context of impact of destructive external factors and the absence of the traditional telecommunications infrastructure necessary information transmission networks with rapid deployment, self-powered nodes, high survivability, ability to deliver messages with dynamically varying topology (random worker processes of network nodes). Such capabilities achieved through the creation of wireless self-organizing networks with decentralized structure (Mobile Ad-Hoc Networks, MANET).*

*The building such networks main advantages are: implementation of decentralized management of network components; no fixed nodes; each node function a router. The MANET networks have prospects of application to ensure communication in the tactical level. These networks will provide continuous and stable exchange of information both by moving on combat equipment (command and chef machine, armored vehicles, cars) and on foot.*

*Ensuring the quality of service in Ad-Hoc networks for protocol developers, network equipment and end users still an actual problem. The buffering and query management mechanisms actively used at all levels of network. These mechanisms also include adaptive ones that designed to service traffic bursts minimal lost, and to provide sufficient bandwidth and acceptable time delays.*

*Processes in mobile tactical radio network with the developed fuzzy controller based on interactive system MATLAB investigated in article. The network presented by the closed loop system of automatic control (system with active queue management) with variable parameters (variable number of communication channels (number of sessions TCP)  $N(t)$  and variable round trip time  $R(t)$ ). The developed fuzzy controller is effective in tactical radio network. The fuzzy controller use it allows keeping the current queue length close to desired one and effective practical data transfer rate.*

**Key words:** Network Ad-Hoc, MATLAB, AQM-system, number of sessions TCP.

## References

- Mohit K.**, Rashmi M. (2012) An overview of MANET: History, Challenges and Applications. Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE), Vol. 3, No 1. pp. 121–125.
- Basagni S.**, Conti M., Giordano S., Stojmenovic I. (2004) Mobile ad hoc networking. Wiley-IEEE Press, 461 p.
- Razgulyaev L.** (2008) Prospective adaptive mobile data transmission network for the US Army [Perspektivnyie mobilnyie adaptivnyie seti peredachi informatsii dlya SV SShA], Zarubezhnoe voennoe obozrenie, No. 1, pp. 35 – 39. URL: <http://pentagonus.ru/publ/11-1-0-567>
- Kucheryavyy E.** (2004) Traffic management and quality of service on the Internet [Upravlenie trafikom i kachestvo obsluzhivaniya v seti Internet], Nauka i tehnika, 336 p.
- Devaraj S.A.**, Anita R.H.V., Christa J.J. (2014) Comparative analysis of random based mobility models using TCP variant in MANETs. Proceeding of the Sivakasi International Conference Communication and Network Technologies (ICCNT). pp. 324–329.
- Tseng Y.**, Li Y., Chang Y. (2003) On Route Lifetime in Multihop Mobile Ad-Hoc Networks. IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 2, No 4, pp. 366-376.
- Ge Y.**, Kunz T., Lamont L. (2003) Quality of Service Routing in Ad-Hoc Networks Using OLSR. Proceeding of the 36th Hawaii International Conference on System Science (HICSS'03).
- Liao W.H.** (2001) A Multi-Path QoS Routing Protocol in a Wireless Mobile Ad Hoc Network. IEEE ICN.
- Hollot C.**, Misra V., Towsley D., Gong W. (2001) A Control Theoretic Analysis of RED. Proceedings of IEEE INFOCOM, Vol. 3. pp. 1510-1519.
- Hollot C.**, Misra V., Towsley D., Gong W. (2002) Analysis and design of controllers for AQM routers supporting TCP flows. IEEE/ACM Transactions on Automatic Control, Vol. 47, No 6. pp. 945–959.
- Hollot C.**, Misra V., Towsley D., Gong W. (2001) On Designing Improved Controllers for Routers Supporting TCP Flows. Proceedings of IEEE INFOCOM'2001, pp. 1726–1734.
- Natsheh E.**, Jantan A.B., Khatun S., Subramaniam S. (2007) Fuzzy Active Queue Management for Congestion Control in Wireless Ad-Hoc. The International Arab Journal of IT, Vol. 4, No. 1, pp. 50-59.
- Gostev V.I.** (2011) Design of fuzzy controllers for automatic control systems [Proektuvannya nechitkih regulyatoriv dlya sistem avtomatichnogo upravlinnya] St. Peterburg, 416 p.
- Gostev V.I.**, Krotov V.D. (2015) Comparative analysis of queue management algorithms for variable parameters of TCP/IP networks [Porivnyalnyi analiz algoritmov upravlinnya chergoyu pri zminnih parametroh TSR/IP merezh] Suchasni Informatsiyni tehnologiyi u sferi bezpeki ta obroni, Vol. 3. pp. 31-37. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo\\_2015\\_3\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sitsbo_2015_3_7).

Юрій Аркадійович Гусак (доктор військових наук, професор)

Сергій Олександрович Кірсанов (кандидат технічних наук, с.н.с.)

Сергій Миколайович Островський (кандидат військових наук)

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

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ В АСУВ ТИПУ C4ISR

Статтю присвячено розробленню математичної моделі автоматизованого управління військами в АСУВ типу C4ISR з використанням основних положень теорії управління.

Відповідно до курсу на євроатлантичну інтеграцію України низкою державних документів визначено одним із пріоритетних завдань оборонної реформи створення єдиної автоматизованої системи управління Збройними Силами України (ЄАСУ ЗС України) як основи системи управління силами оборони держави, з огляду на проєктні рішення C4ISR та стандарти країн – членів НАТО. Але, незважаючи на це, її стан, з деяких причин, не відповідає вимогам, які до неї висуваються.

Однією з причин є недосконалість існуючого методичного апарату, який використовується для моделювання процесу управління військами. Перш за все, це стосується відсутності у його складі єдиної математичної моделі автоматизованого управління в АСУВ типу C4ISR, що безпосередньо впливає на вироблення та дотримання єдиної ідеології обґрунтування вимог до неї.

Для досягнення мети статті її авторами представлено АСУВ типу C4ISR як кібернетичну систему, яка забезпечує автоматизоване управління військами на основі визначених принципів управління, ознак класифікації та базових функцій, притаманних даним системам в країнах – членах НАТО.

Відповідно до цього була розроблена математична модель процесу автоматизованого управління військами в АСУВ типу C4ISR, яка враховує послідовність виконання циклу управління та дозволяє дослідити вплив кожного із засобів автоматизованого управління на здійснення процесу управління військами з урахуванням даних про отримане завдання, склад та характер дій противника.

З метою забезпечення єдиної ідеології модель має стати аналітичною та імітаційною основою розвитку теорії щодо обґрунтування вимог до перспективної АСУВ, що є перспективним напрямом подальших досліджень.

**Ключові слова:** теорії управління; автоматизована система управління військами; об'єкт управління; математична модель; цикл управління військами; засоби автоматизованого управління; C4ISR.

### Вступ

У сучасній динамічній високотехнологічній війні перемагає той, хто швидше виявить противника, першим спланує і завдасть удару [1], [2]. Це означає, що перевага у оперативності та обґрунтованості виконання етапів циклу управління військами безпосередньо впливає на ефективність їх застосування. Маючи таку перевагу, угруповання військ здатне забезпечити перемогу навіть над противником, який переважає за чисельністю та вогневими засобами.

Як відомо [3], практична реалізація цих теоретичних положень у США та країнах – членах НАТО здійснюється на основі передових інформаційних технологій ще з 90-их років минулого століття згідно з “Концепцією ведення воєнних дій в єдиному інформаційному просторі з використанням об'єднаних інформаційно-управляючих мереж” (Network-Centric Warfare). Реалізація Концепції відбувається в межах програми “Системи управління, зв'язку, аналітичного забезпечення, розвідки і спостереження” (Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance – C4ISR), яка

передбачає об'єднання розподілених у просторі різномірних сил і засобів глобальних і локальних інформаційно-управляючих систем (АСУВ) та автоматизацію процесів управління військами за напрямками: повсякденна діяльність, приведення у вищі ступені бойової готовності, мобілізація, перегруповання, бойове застосування, розвідувальне та інші види забезпечення.

**Постановка проблеми.** Відповідно до курсу на євроатлантичну інтеграцію України низкою державних документів [4], [5] визначено одним із пріоритетних завдань оборонної реформи створення ЄАСУ ЗС України як основи системи управління силами оборони держави, з огляду на проєктні рішення C4ISR та стандарти країн – членів НАТО. Але, незважаючи на це, її стан, з деяких причин, [5] не відповідає вимогам, які до неї висуваються.

Однією з причин є недосконалість існуючого методичного апарату, який використовується для моделювання процесу управління військами [6]. Перш за все, це стосується відсутності у його складі єдиної математичної моделі автоматизованого управління в АСУВ типу C4ISR, що безпосередньо впливає на вироблення та дотримання єдиної ідеології обґрунтування вимог

до неї. Розроблення такої моделі є актуальним науковим завданням, що і визначає тему статті.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Аналіз останніх досліджень і публікацій стосовно наявних математичних моделей автоматизованого управління в АСУВ, у тому числі типу С4ISR, показав, що його розробленню та розвитку приділяли недостатньо уваги. Зарубіжні видання, як правило, не розкривають зміст математичного моделювання процесів управління в АСУ військового призначення, обмежуючись загальним описом даних систем, висвітлюючи при цьому показники, які характеризують окремі, другорядні їх властивості [7].

Результати досліджень, які проводились із зазначеного питання в інтересах створення ЄАСУ ЗС України, свідчать про відсутність єдиної ідеології побудови наявних математичних моделей, що використовуються для опису АСУВ, та їх спрямованість на дослідження окремих властивостей системи. Тобто ці моделі у сукупності не становлять єдину математичну модель автоматизованого управління. Вони базуються на методах системного аналізу [8], експертного оцінювання, аналогій [9]–[10], емпіричних методах, що застосовуються під час випробувань окремих програмно-технічних рішень сучасних систем управління, які створюються у ЗС України [11]–[12]. Але такі математичні моделі містять значні припущення та обмеження, що в подальшому призводить до зменшення (узагальнення) кількості показників вимог до АСУВ та зниження точності їх розрахунків.

**Метою статті** є розроблення математичної моделі автоматизованого управління в АСУВ типу С4ISR як основи обґрунтування вимог до перспективної АСУВ.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Як відомо [13], [14], метою управління військами є забезпечення ефективного використання їх бойових можливостей у будь-яких умовах обстановки для досягнення мети операції (бою). У першу чергу, це має бути здійснено за рахунок оптимізації рішень, що приймаються, та підвищення оперативності, якості планування операцій (боїв) військ [15] на основі автоматизації процесу управління ними.

Теорія систем визначає [16], що оптимальність управління за своєю суттю передбачає досягнення мети функціонування системи за умови витрачання якомога менше зусиль та ресурсів.

Відповідно до цього для досягнення мети операції (бою) сучасна АСУВ типу С4ISR має забезпечити оптимальне використання ресурсу об'єкта управління (військ), а саме: особового складу, часу, матеріальних засобів, озброєння та військової техніки тощо, з обов'язковим урахуванням визначених для них обмежень [17].

З огляду на зазначене, задача вибору оптимального управляючого впливу в реальному масштабі часу може бути розв'язана на основі положень теорії управління, яка передбачає повне використання наявної апріорної інформації у

вигляді моделі процесу або об'єкта, який управляється, в заданій тій чи іншій формі [18].

Математичну модель процесу управління військами з використанням основних положень теорії управління розроблено у роботі [6]. Цей процес управління реалізується в АСУВ.

Тому для забезпечення об'єктивності та необхідного рівня повноти досліджень розробимо математичну модель АСУВ типу С4ISR.

З точки зору кібернетики для забезпечення процесу управління військами ця АСУВ має будуватися та функціонувати на основі наступних принципів [19]:

цілеспрямованості (наявності мети) управління; використання причинно-наслідкових та зворотних зв'язків між елементами АСУВ (засобами автоматизованого управління (ЗАУ), їх комплексами (КЗАУ));

урахування впливу на елементи АСУВ зовнішнього середовища (дій противника, фізико-географічних умов району операції);

динамічного характеру АСУВ (здатність АСУВ переходити з одного стану в інший під управляючим впливом);

наявності обміну інформацією між елементами АСУВ як обов'язкової умови її функціонування та збереження цілісності.

Відповідно до цього організаційна структура перспективної АСУВ типу С4ISR як кібернетичної системи на прикладі вертикалі управління “оперативне угруповання військ (ОУВ) – оперативне-тактичне угруповання військ (ОТУВ)” може бути представлена у вигляді, зображеному на рис. 1.

Згідно з цією структурою комплекси засобів автоматизованого управління АСУВ, розгорнуті на пунктах управління (ПУ), перебувають у контурі управління. При цьому до КЗАУ надходить основний потік інформації про стан об'єкта управління (ОБУ). Ця інформація в КЗАУ безперервно накопичується та обробляється, звідки, головним чином, ОУ отримує через запит необхідну інформацію про стан ОБУ. Таким чином забезпечується безперервний інформаційний зв'язок між ОУ та ОБУ у процесі управління військами. Представлена структура вертикалі управління перспективної АСУВ передбачає повну автоматизацію всіх основних функцій процесу управління військами. Вона дозволяє за наявності необхідного високоінтелектуального спеціального математичного та програмного забезпечення за рішенням ОУ здійснювати управління військами у квазіавтоматичному режимі. Тобто, згідно з [1]–[3], [20], відповідає класу АСУВ (за термінологією НАТО) С4, яка дає можливість повністю автоматизувати процеси збирання і оброблення інформації, забезпечує інформаційну та аналітичну підтримку прийняття рішення на основі моделювання результатів бойових дій.

Відповідно до цього така АСУВ, згідно з термінологією та класифікацією АСУВ у країнах – членах НАТО, має класифікаційні ознаки С4ISR, опис яких представлено у табл. 1.



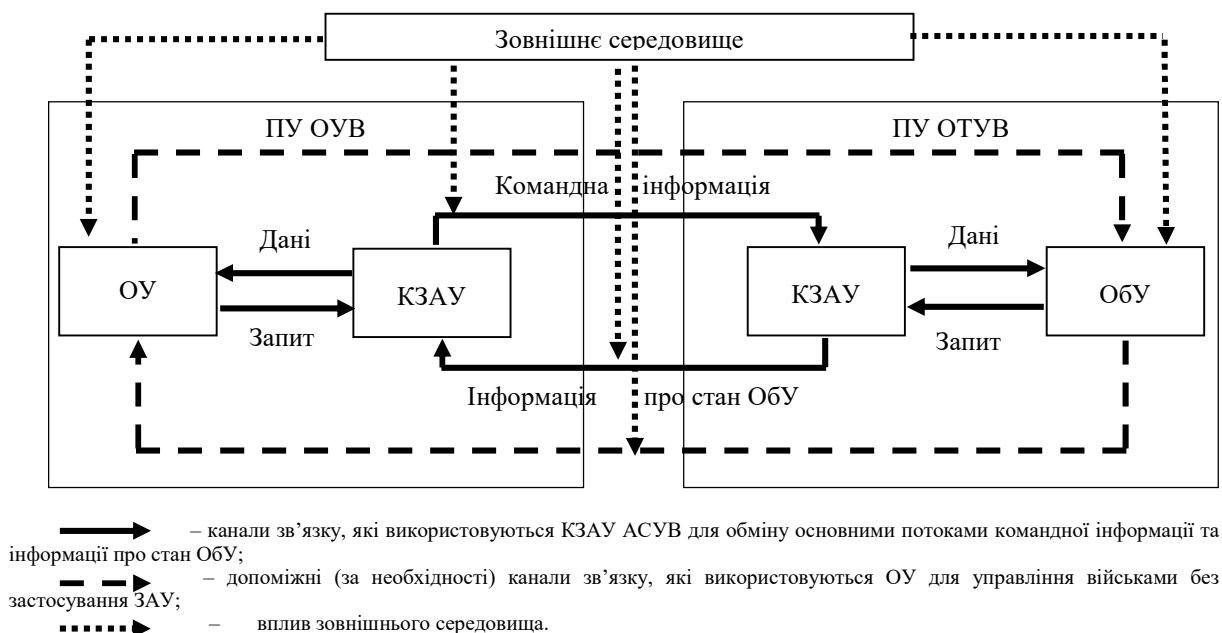


Рис. 1. Структурна схема методичного підходу оцінювання рівня автоматизації

Таблиця 1

Ознаки класифікації та базові функції АСУВ типу С4ISR у країнах – членах НАТО

Ознака класифікації АСУВ	Зміст ознаки класифікації	Базові функції АСУВ
Command	Командна підсистема	Планування органами управління застосування підпорядкованих сил і засобів, вироблення і прийняття рішення на застосування, його оформлення
Control	Підсистема управління поточними операціями	Збирання інформації для органів управління від різних джерел про стан військ та постановка завдань військам з використанням засобів зв'язку, контроль за їх виконанням
Communication	Комунікаційна підсистема	Організація мереж зв'язку
Computers	Підсистема аналітичного (спеціального програмного) забезпечення	Виконання оперативного-тактичних розрахунків, моделювання бойових дій, що визначає функціональні можливості АСУВ
Intelligence	Підсистема розвідки	Збирання, накопичення, оброблення та збереження даних про характер дій противника
Surveillance	Підсистема спостереження (моніторингу)	Система спостереження (моніторингу) за тактичною обстановкою у реальному часі
Reconnaissance	Підсистема рекогносцировки	Візуальне вивчення позицій противника і місцевості

Ці ознаки визначають функціональне призначення даної АСУВ і тому мають бути враховані під час математичного моделювання процесу автоматизованого управління військами. Беручи до уваги наведені ознаки класифікації, позначимо на функціональній моделі процесу управління військами, розробленій у роботі [6], відповідні функціональні підсистеми С4ISR, які автоматизують роботу посадових осіб ПУ відповідно до  $W$  етапів циклу управління (рис 2).

На рисунку 2 позначено:  $\vec{b}$  – вектори вихідних параметрів станів етапів циклу управління військами в моменти часу операції;  $M$  – матриці параметрів станів етапів циклу управління військами під час ведення операції;  $\vec{u}$  – вектор параметрів вхідного завдання;  $\vec{x}$  – вектор параметрів стану своїх військ.

Так виконання заходів етапу  $W_o$  "Оцінювання обстановки", що здійснюється на підставі аналізу отриманого завдання  $\vec{b}_d$ , автоматизується одночасно трьома функціональними підсистемами:

підсистемою розвідки (Intelligence) – для забезпечення автоматизованого збирання даних про стан та характер дій військ противника  $W_h$ ;

підсистемою спостереження (моніторингу) (Surveillance) – для забезпечення автоматизованого збирання даних про стан та характер дій своїх військ  $W_m$ ;

підсистемою рекогносцировки (Reconnaissance) – для забезпечення автоматизованого збирання даних про район операції  $W_{ro}$ .

За результатами виконання кожного із заходів формуються відповідні вектори вихідних параметрів  $\vec{b}_d$ ,  $\vec{b}_h$ ,  $\vec{b}_m$ ,  $\vec{b}_{ro}$  та вектор  $\vec{b}_o$ , які кількісно характеризують стан цього етапу циклу управління військами у моменти часу.

Наступні етапи циклу управління військами, а саме: вироблення задуму  $W_z$ , прийняття рішення  $W_r$ , розроблення плану операції  $W_p$  автоматизуються відповідними засобами автоматизованого управління підсистеми

аналітичного забезпечення (Computers). Вихідними даними для послідовного відпрацювання визначених на цих етапах заходів є значення вихідних параметрів вектора  $\vec{b}_0$ .

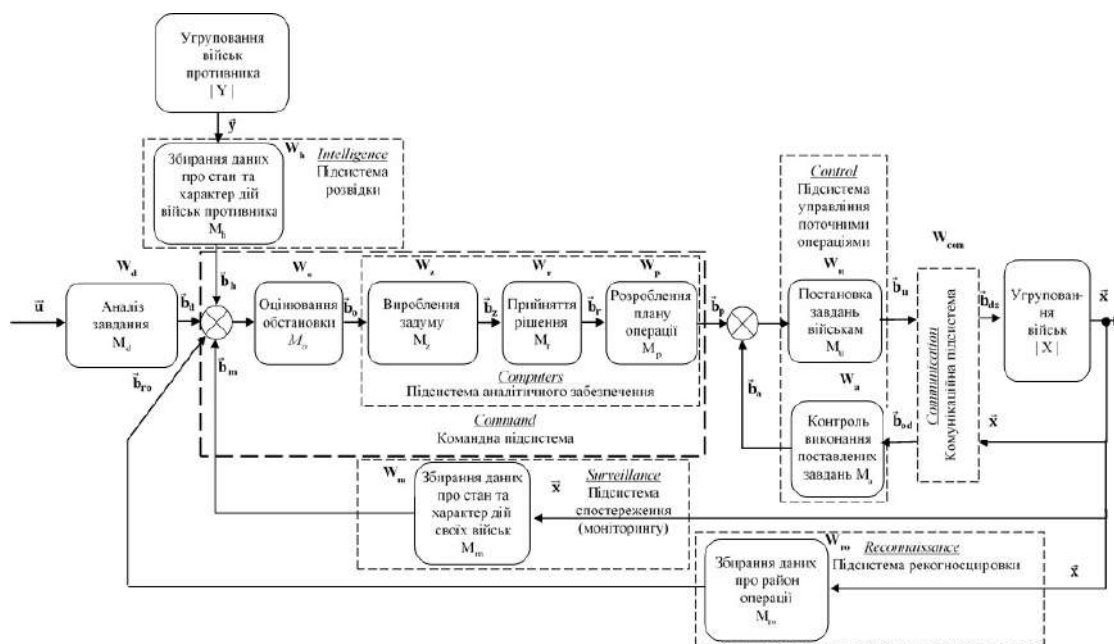


Рис. 2. Функціональні підсистеми АСУВ типу C4ISR, які автоматизують роботу посадових осіб ПУ

Кожен із цих етапів після виконання передбачених в його межах заходів на виході має вектор відповідних йому параметрів  $\vec{b}_z$ ,  $\vec{b}_r$  та  $\vec{b}_p$ .

Згідно з табл. 1 за своїми функціями підсистеми, залучені для автоматизації етапу  $W_o$  "Оцінювання обстановки", спільно з підсистемою аналітичного забезпечення на своїй основі утворюють командну підсистему (Command), яка є визначальною підсистемою щодо функціонального призначення АСУВ типу C4ISR.

Наступні етапи циклу управління військами  $W_u$  та  $W_a$ , автоматизуються засобами автоматизованого управління підсистеми управління поточними операціями (Control). Вони забезпечують автоматизацію процесу постановки завдань військам  $\vec{b}_u$  та автоматизований контроль їх виконання  $\vec{b}_a$ .

Автоматизоване доведення по телекомунікаційній мережі директивних, розпорядчих та інших документів і донесень про їх виконання забезпечується на основі комунікаційної підсистеми  $W_{com}$  (Communication). Ця підсистема визначається векторами вихідних параметрів відправлених документів  $\vec{b}_{dz}$  та отриманих доповідей про їх виконання  $\vec{b}_{od}$ , відповідно.

Вектори вихідних параметрів етапів циклу управління військами визначають у будь-який момент часу операції стан кожного з етапів та представляють собою вектор-функцію декількох показників. Дані показники у процесі управління військами у часі поступово формуються у матриці етапів циклу управління військами.

На основі рис. 2 представимо АСУВ типу

C4ISR у вигляді структурно-логічної схеми засобів автоматизації відповідного функціонального призначення, які забезпечують автоматизацію робіт щодо управління військами рис. 3.

На основі розробленої структурно-логічної схеми запишемо математичні рівняння для розрахунку вектор-функцій на виході V засобів автоматизованого управління АСУВ типу C4ISR відповідного функціонального призначення, які автоматизують  $W$  етапи циклу управління військами.

Так, рівняння вектор-функції параметрів на виході аналізу завдання  $V_d$  має наступний вигляд:

$$\vec{b}_d = M_d \cdot \vec{u}, \quad (1)$$

де  $\vec{b}_d$  – вектор-функція вихідних параметрів аналізу завдання;

$M_d$  – матриця вихідних параметрів аналізу завдання;

$\vec{u}$  – вектор параметрів вхідного завдання.

Рівняння вектор-функції на виході засобів автоматизації моніторингу поточної обстановки  $V_m$ :

$$\vec{b}_m = M_m \cdot \vec{x}, \quad (2)$$

де  $\vec{b}_m$  – вектор-функція параметрів на виході засобів автоматизації моніторингу поточної обстановки;

$M_m$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації моніторингу поточної обстановки;

$\vec{x}$  – вектор параметрів стану своїх військ.

Рівняння вектор-функції на виході засобів автоматизації розвідки противника  $V_h$ :

$$\vec{b}_h = M_h \cdot \vec{y}, \quad (3)$$

де  $\vec{b}_h$  – вектор-функція параметрів на виході засобів автоматизації розвідки противника;  
 $M_h$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації розвідки противника;  
 $\vec{y}$  – вектор параметрів стану військ противника.

Рівняння вектор-функції на виході засобів

автоматизації збирання даних про район операції  $V_{ro}$ :

$$\vec{b}_{ro} = M_{ro} \cdot \vec{x}, \quad (4)$$

де  $\vec{b}_{ro}$  – вектор-функція параметрів на виході засобів автоматизації збирання даних про район операції;

$M_{ro}$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації збирання даних про район операції.

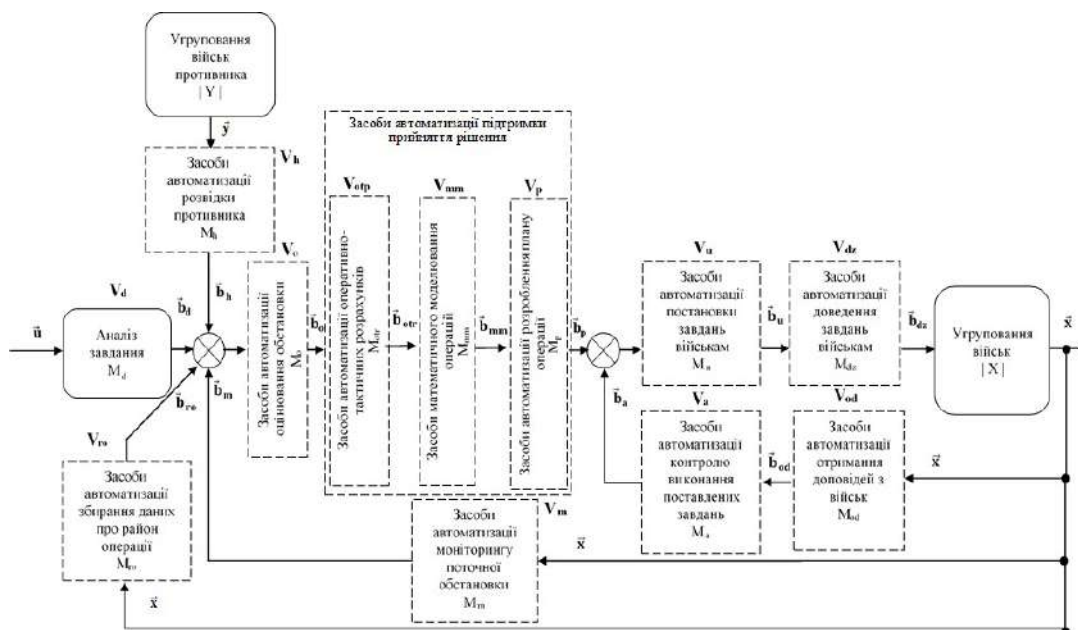


Рис. 3. Структурно-логічна схема автоматизованого управління військами в АСУВ типу С4ІSR

Рівняння вектор-функції на виході засобів автоматизації оцінювання обстановки  $V_o$ :

$$\vec{b}_o = M_o \cdot (\vec{b}_d + \vec{b}_m + \vec{b}_h + \vec{b}_{ro}), \quad (5)$$

де  $\vec{b}_o$  – вектор-функція параметрів на виході засобів автоматизації оцінювання обстановки;

$M_o$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації оцінювання обстановки.

Рівняння вектор-функції на виході засобів автоматизації оперативно-тактичних розрахунків  $V_{otr}$ :

$$\vec{b}_{otr} = M_{otr} \cdot \vec{b}_o, \quad (6)$$

де  $\vec{b}_{otr}$  – вектор-функція параметрів на виході засобів автоматизації оперативно-тактичних розрахунків;

$M_{otr}$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації оперативно-тактичних розрахунків.

Рівняння вектор-функції на виході засобів математичного моделювання  $V_{mm}$ :

$$\vec{b}_{mm} = M_{mm} \cdot \vec{b}_{otr}, \quad (7)$$

де  $\vec{b}_{mm}$  – вектор-функція параметрів на виході засобів математичного моделювання;

$M_{mm}$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації математичного моделювання.

Рівняння вектор-функції на виході засобів автоматизації розроблення плану операції  $V_p$ :

$$\vec{b}_p = M_p \cdot \vec{b}_{mm}, \quad (8)$$

де  $\vec{b}_p$  – вектор-функція параметрів на виході засобів автоматизації розроблення плану операції;

$M_p$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації розроблення плану операції.

Рівняння вектор-функції на виході засобів автоматизації контролю виконання поставлених завдань  $V_a$ :

$$\vec{b}_a = M_a \cdot \vec{b}_{od}, \quad (9)$$

де  $\vec{b}_{od}$  – вектор-функція параметрів на виході засобів автоматизації отримання доповідей з військ;

$\vec{b}_a$  – вектор-функція параметрів на виході засобів автоматизації контролю виконання поставлених завдань;

$M_a$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації контролю виконання поставлених завдань.

Рівняння вектор-функції на виході засобів автоматизації постановки завдань військам  $V_u$ :

$$\vec{b}_u = M_u \cdot (\vec{b}_p + \vec{b}_a), \quad (10)$$

де  $\vec{b}_u$  – вектор-функція параметрів на виході засобів автоматизації постановки завдань військам;

$M_u$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації постановки завдань військам.

Рівняння вектор-функції на виході засобів автоматизації доведення завдань військам  $V_{dz}$ :

$$\vec{b}_{dz} = M_{dz} \cdot \vec{b}_u, \quad (11)$$

де  $\vec{b}_{dz}$  – вектор-функція параметрів на виході засобів автоматизації доведення завдань військам;

$M_{dz}$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації доведення завдань військам.

Рівняння вектор-функції на виході засобів автоматизації отримання доповідей з військ  $V_{od}$ :

$$\vec{b}_{od} = M_{od} \cdot \vec{x}, \quad (12)$$

де  $M_{od}$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації отримання доповідей з військ.

Підставивши (1), (2), (3) та (4) у (5), отримаємо:

$$\begin{aligned} \vec{b}_o &= M_o \cdot (\vec{b}_d + \vec{b}_m + \vec{b}_h + \vec{b}_{ro}) = \\ &= M_o \cdot \vec{b}_d + M_o \cdot \vec{b}_m + M_o \cdot \vec{b}_h + \\ &+ M_o \cdot \vec{b}_{ro} = M_o \cdot M_d \cdot \vec{u} + M_o \cdot \vec{x} \cdot \\ &\cdot (M_m + M_{ro}) + M_o \cdot M_h \cdot \vec{y} \end{aligned} \quad (13)$$

Підставивши (13) у (6), маємо:

$$\vec{b}_{otr} = M_{otr} \cdot M_o \cdot M_d \cdot \vec{u} + M_{otr} \cdot M_o \cdot \vec{x} \cdot \\ \cdot (M_m + M_{ro}) + M_{otr} \cdot M_o \cdot M_h \cdot \vec{y} \quad (14)$$

Підставивши (14) у (7), отримаємо:

$$\begin{aligned} \vec{b}_{mm} &= M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot M_d \cdot \vec{u} + \\ &M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot \vec{x} \cdot (M_m + M_{ro}) + \\ &+ M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot M_h \cdot \vec{y} \end{aligned} \quad (15)$$

Підставивши (15) у (8), отримаємо:

$$\begin{aligned} \vec{b}_p &= M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot M_d \cdot \vec{u} + \\ &M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot \vec{x} \cdot (M_m + M_{ro}) + \\ &+ M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot M_h \cdot \vec{y} \end{aligned} \quad (16)$$

Підставивши (12) у (9), отримаємо:

$$\vec{b}_a = M_a \cdot M_{od} \cdot \vec{x} \quad (17)$$

Підставивши (16) та (17) у (10), отримаємо:

$$\begin{aligned} \vec{b}_u &= M_u \cdot M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot M_d \cdot \vec{u} + \\ &M_u \cdot M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot \vec{x} \cdot \\ &\cdot (M_m + M_{ro}) + M_u \cdot M_p \cdot M_{mm} \cdot \\ &\cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot M_h \cdot \vec{y} + \\ &+ M_u \cdot M_a \cdot M_{od} \cdot \vec{x} \end{aligned} \quad (18)$$

Підставивши (18) у (11), отримаємо:

$$\begin{aligned} \vec{b}_{dz} &= M_{dz} \cdot M_u \cdot M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot \\ &\cdot M_d \cdot \vec{u} + M_{dz} \cdot M_u \cdot M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot \\ &\cdot M_o \cdot \vec{x} \cdot (M_m + M_{ro}) + M_{dz} \cdot M_u \cdot M_p \cdot \\ &\cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot M_h \cdot \vec{y} + M_{dz} \cdot M_u \cdot \\ &\cdot M_a \cdot M_{od} \cdot \vec{x} \end{aligned} \quad (19)$$

### Література

1. Макаренко С. И., Иванов М. С. Сетевая война – принципы, технологии, примеры и перспективы: моногр. Санкт-Петербург: Научно-технологический институт, 2018. 898 с. 2. Попов И. М., Хамзатов М. М. Война будущего: концептуальные основы и практические выводы. Очерки стратегической мысли. Москва: Кучково поле, 2016. 832 с. 3. Паршин С., Кожанов Ю. Концепции сетецентрического боевого управления ВС США, Великобритании и ОВС НАТО. Общее и различия // Зарубежное военное обозрение.

Перетворимо вираз (19) таким чином:

$$\begin{aligned} \vec{b}_{dz} &= (M_{dz} \cdot M_u \cdot M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot \\ &\cdot (M_m + M_{ro}) + M_{dz} \cdot M_u \cdot M_a \cdot M_{od}) \cdot \vec{x} + \\ &\cdot M_{dz} \cdot M_u \cdot M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot M_d \cdot \vec{u} \cdot \\ &\cdot M_{dz} \cdot M_u \cdot M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot M_h \cdot \vec{y} = \\ &= A \cdot \vec{x} + B \cdot \vec{u} + C \cdot \vec{y} \end{aligned} \quad (20)$$

де  $A = M_{dz} \cdot M_u \cdot M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot (M_m + M_{ro}) + M_{dz} \cdot M_u \cdot M_a \cdot M_{od}$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації відповідного функціонального призначення, які реалізують етапи циклу управління військами;

$B = M_{dz} \cdot M_u \cdot M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot M_d$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації з урахуванням параметрів вхідного завдання;

$C = M_{dz} \cdot M_u \cdot M_p \cdot M_{mm} \cdot M_{otr} \cdot M_o \cdot M_h$  – матриця параметрів на виході засобів автоматизації з урахуванням даних про склад та характер дій військ противника.

Згідно з основними положеннями теорії управління [14]:

$$\vec{x} = \int \vec{b}_{dz} dt \quad (21)$$

Відповідно до цього рівняння автоматизованого управління військами в АСУВ типу С4ISR може бути представлено у такому вигляді:

$$\frac{d\vec{x}}{dt} = A\vec{x} + B\vec{u} + C\vec{y} \quad (22)$$

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Таким чином, у статті на основі ознак класифікації та змісту базових функцій АСУВ типу С4ISR з урахуванням послідовності виконання етапів циклу управління розроблено математичну модель автоматизованого управління військами.

Ця модель базується на основних положеннях теорії управління і дозволяє дослідити вплив кожного із засобів автоматизованого управління на здійснення процесу управління військами з урахуванням даних про отримане завдання, склад та характер дій противника.

З метою забезпечення єдиної ідеології досліджень математична модель має стати аналітичною та імітаційною основою розвитку теорії щодо обґрунтування вимог до перспективної АСУВ, що є перспективним напрямом подальших досліджень.

2010. № 4. С. 7–18. 4. Україна. Президент (2014–2019); П. О. Порошенко). Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 травня 2016 року “Про Стратегічний оборонний бюлетень України”: Указ Президента України від 06.06.2016 № 240/2016. Київ: АПУ, 2016. 61 с. 5. Концепція відомчих програм створення Єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України, єдиної інформаційної системи управління оборонними ресурсами та інформаційної інфраструктури до 2020

року: затв. Міністром оборони України 12.05.2018. Київ. 2018. 13 с. 6. **Гусак Ю. А., Кірсанов С. О., Островський С. М.** Математична модель процесу управління військами у просторі станів // 36. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. 2021. № 1 (96). С.18–30. 7. **Кондратьев А. Е.** Общая характеристика сетевых архитектур, применяемых при реализации перспективных сетевых концепций ведущих зарубежных стран // Военная мысль. 2008. № 12. С. 63–74. 8. **Кірсанов С. О., Азаревич В. О., Манько О. О.** Один із поглядів на зміст та послідовність проведення досліджень щодо обґрунтування оперативного-тактичних вимог до складової єдиної автоматизованої системи управління Збройних Сил України // 36. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. 2011. № 3 (57). С. 221–236. 9. **Островський С. М.** Обґрунтування вимог до системи управління оперативного угруповання військ: дис. ... канд. військ. наук: 20.02.12 / Островський Сергій Миколайович. Київ. 2019. 187 с. 10. **Кірсанов С. О., Островський С.** Методичний підхід до оцінювання рівня автоматизації роботи органів управління // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2018. № 3 (33). С. 77–80. 11. Звіт про результати досліджень в ході стратегічного командно-штабного навчання з органами військового управління, військами (силами) ЗС України, іншими складовими сил оборони України “Козацька воля – 2018” (в період з 25 по 29 вер. 2018 р.). Київ: ЦНДІ ЗС України, 2018. 107 с. 12. **Ткачук П. П., Бударецький Ю. І., Цавінський Ю. В.,**

**Прокопенко В. В.** Вплив засобів автоматизації управління підрозділами і вогнем артилерії на ефективність її застосування // Військово-технічний збірник. 2015. № 12. С. 75–82. 13. **Огарков Н.В.** Советская Военная Энциклопедия. В 8 т. / пред. гл. ред. комиссии Н.В. Огарков. Москва: Воениздат, 1976–1980. С. 203–204. 14. **Алтухов П.К.** Основы теории управления войсками / под ред. П. К. Алтухова. Москва: Воениздат, 1984. 221 с. 15. **Рябчук В.Д.** Автоматизация управления войсками / под ред. засл. деятеля науки РСФСР, докт. воен. наук, профессора, генерал-майора В. Д. Рябчука. Москва: Военное изд-во, 1984. С. 39–40. 16. **Тараканов К. В., Овчаров Л. А., Тырышкин А. Н.** Аналитические методы исследования систем. Москва: Советское радио, 1974. 240 с. 17. Советская Военная Энциклопедия. В 8 т. / пред. гл. ред. комиссии А. А. Гречко. Москва: Воениздат, 1976. Т. 1. А – Бюро. С. 81. 18. **Красовский А.А.** Справочник по теории автоматического управления / под ред. А. А. Красовского. Москва: Ордена трудового Красного Знамени изд-во “Наука”. 19. **Сулин Л.И.** Автоматизированные системы управления войсками и автоматизированные системы связи / под ред. Л. И. Сулина. Москва: Военное изд-во, 1991. 408 с. 20. **Сидорин А. Н., Прищепов В. М., Акуленко В. П.** Вооруженные силы США в XXI веке: военно-теоретический труд. Москва: Кучково поле; Военная книга, 2013. 800 с.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ В АСУВ ТИПУ C4ISR

*Юрий Аркадиевич Гусак (доктор военных наук, профессор)  
Сергей Александрович Кирсанов (кандидат технических наук, с.н.с)  
Сергей Николаевич Островский (кандидат военных наук)*

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

*Статья посвящена разработке математической модели автоматизированного управления войсками в АСУВ типа C4 ISR с использованием основных положений теории управления.*

*В соответствии с курсом на евроатлантическую интеграцию Украины рядом государственных документов определено одним из приоритетных заданий оборонной реформы создания единой автоматизированной системы управления Вооруженными Силами Украины (АСУВ ЗС Украины) как основы системы управления силами обороны государства, учитывая проектные решения C4 ISR и стандарты стран - членов НАТО. Но, невзирая на это, ее состояние, по некоторым причинам, не отвечает требованиям, которые к ней выдвигаются.*

*Одной из причин есть несовершенство существующего методического аппарата, который используется для моделирования процесса управления войсками. Прежде всего, это касается отсутствия в его составе единственной математической модели автоматизированного управления в АСУВ типа C4 ISR, что непосредственно влияет на выработку и соблюдение единственной идеологии обоснования требований к ней.*

*Для достижения цели статьи ее авторами представлено АСУВ типа C4 ISR как кибернетическую систему, которая обеспечивает автоматизированное управление войсками на основе определенных принципов управления, признаков классификации и базовых функций, присущих данным системам в странах - членах НАТО.*

*В соответствии с этим была разработана математическая модель процесса автоматизированного управления войсками в АСУВ типа C4 ISR, которая учитывает последовательность выполнения цикла управления и позволяет исследовать влияние каждого из средств автоматизированного управления на осуществление процесса управления войсками с учетом данных о полученном задании, составе и характере действий противника.*

*С целью обеспечения единственной идеологии модель должна стать аналитической и имитационной основой развития теории относительно обоснования требований к перспективной АСУВ, что является перспективным направлением дальнейших исследований.*

**Ключевые слова:** теории управления; автоматизированная система управления войсками; объект управления; математическая модель; цикл управления войсками; средства автоматизированного управления C4 ISR.

## MATHEMATICAL MODEL OF AUTOMATED COMMAND AND CONTROL IN AUTOMATED COMMAND AND CONTROL SYSTEM SIMILAR TO C4ISR

*Uriy Husak (Doctor of Military science, Professor.)*  
*Serhiy Kirsanov (Candidate of Technical science, Senior Research Fellow)*  
*Serhiy Ostrovskiy (Candidate of Military science)*

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

*The article is devoted to the development of a mathematical model of automated command and control (C2) in the automated C2 system similar to C4ISR based on provisions of command and control theory.*

*In accordance with the course for Ukraine's Euro-Atlantic integration, a number of state documents identify one of the priorities of defence reform as the development of a unified automated command and control system of the Armed Forces of Ukraine (UASU) as a basis for C2 of the state defence forces, based on C4ISR projects decisions and NATO standards. However, despite this, its status, for some reason, does not meet the requirements for this system.*

*One of the reasons is the underdevelopment of an existing methodology used to model the process of C2. First of all, this concerns the lack of a single mathematical model of automated C2 in the UASU similar to C4ISR, which directly affects the development and compliance with a unified ideology to justify the requirements for this system.*

*To achieve the goal of the article, its authors presented the UASU similar to C4ISR as a cybernetic system that provides automated C2 based on certain command principles, classification features and basic functions inherent in these systems in countries of NATO.*

*Accordingly, a mathematical model of the process of automated C2 was developed, which takes into account the sequence of the C2 cycle and allows to research the impact of each of the means of automated C2 on the C2 process taking into account data on a given task, Enemy Manning&Table of Equipment as well as Enemy actions.*

*In order to ensure a unified ideology, the model should become an analytical and simulation basis for the development of the theory to substantiate the requirements for UASU prototype, which is a potential area of further research.*

**Keywords:** *command and control theories; automated command and control system; object of command and control; mathematical model; command and control cycle; means of automated command and control; C4ISR.*

### References

- 1. Makarenko S.I., Ivanov M.S.** Network-centric war – principles, technologies, examples and perspectives: monograph . Saint Petersburg: Science-intensive technologies, 2018. 898 p. **2. Popov I.M., Khamzatov M.M.** Future War: conceptual foundations and practical conclusions. Essays on strategic thought. Moskau: Rechkovo pole, 2016. 832 p. **3. Parshin S., Kozhanov Y.** Concepts of network-centric combat command and control of the US, British and NATO Armed Forces. General and Differences // Foreign military review. 2010. № 4. P. 7–18. **4. Ukraine. The President (2014–2019; P.O Poroshenko).** On the decision of the National Security and Defense Council of Ukraine of May 20, 2016 “On the Strategic Defence Bulletin of Ukraine”: Decree of the President of Ukraine of 06.06.2016 № 240/2016. Kyiv: APU, 2016. 61 p. **5.** The concept of departmental programs for the creation of a Unified automated command and control system of the Armed Forces of Ukraine, a unified information system for the command and control of defense resources and information infrastructure until 2020: approved. Minister of Defense of Ukraine on May 12, 2018. Kyiv. 2018. 13 p. **6. Gusak Y.A., Kirsanov S.O., Ostrovsky S.M.** Mathematical model of the process of command and control in the space of states // Coll. Science. etc. Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine. 2021. № 1 (96). P.18–30. **7. Kondrat'ev A.E.** General characteristics of network architectures used in the implementation of promising network-centric concepts of leading foreign countries // Military Thought. 2008. № 12. P. 63–74. **8. Kirsanov S.O., Azarevich V.O., Manko O.O.** One of the views on the content and sequence of research on the justification of operational and tactical requirements for the component of a unified automated command and control system of the Armed Forces of Ukraine // Coll. Science. etc. Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine. 2011. № 3 (57). p. 221–236. **9. Ostrovsky S.M.** Substantiation of requirements to the command and control system of the operational task forces: dis. ... Cand. Mil. Sciences: 20.02.12 / Ostrovsky Sergey Nikolaevich. Kyiv. 2019. 187 p. **10. Kirsanov S.O., Ostrovsky S.M.** Methodical approach to assessing the level of automation of staff work // Modern information technology in the field of security and defense. 2018. № 3 (33). Pp. 77–80. **11.** Report on the results of research during Strategic Command-Post Exercise with military HQs, military forces of the Armed Forces of Ukraine, other components of the Defense Forces of Ukraine "Cossack Will - 2018" (from 25 to 29 September 2018). Kyiv: Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine, 2018. 107 p. **12. Tkachuk P.P., Budaretsky Y.I., Shchavinsky Y.V., Prokopenko V.V.** Influence of means of automation of C2 of units and artillery fire on efficiency of its application // Military-technical collection. 2015. № 12. S. 75–82. **13. Ogarkov N.V.** Soviet Military Encyclopedia. In 8 val / head. main ed. board N.V. Ogarkov. Moscow: Voenizdat, 1976–1980. p. 203–204. **14. Altukhov P.K.** Fundamentals of the theory of command and control / ed. P.K. Altukhov. Moscow: Voenizdat, 1984. 221 p. **15. Riabchuk V.D.** Automation of command and control of forces / ed. hon. scientist of the russia, Dr. Military. Sciences, Professor, Major General V.D. Ryabchuk. Moscow: Voennoe izd-vo, 1984. p. 39–40. **16. Tarakanov K.V., Ovcharov L.A., Tyryshkin A.N.** Analytical methods of systems research. Moscow: Soviet Radio, 1974. 240 p. **17.** Soviet Military Encyclopedia. In 8 val./ head. main ed. board A.A. Grechko. Moscow: Voenizdat, 1976. T. 1. A - Bureau. p. 81. **18. Krasovsky A.A.** Handbook of automatic command and control theory / ed. A.A. Krasovsky. Moscow: Order of the Red Banner of Labor, Nauka Publishing House. **19. Sulin L.I.** Automated command and control systems and automated communication systems / ed. L.I. Sulina. Moscow: Military Publishing House, 1991. 408 p. **20. Sidorin A.N., Prishchepov V.M., Akulenko V.P.** The US Armed Forces in the XXI century: military-theoretical work. Moscow: Kuchkovo Pole; Voenaya kniga

Олександр Юрійович Пермяков (доктор технічних наук, професор)<sup>1</sup>

Наталія Олександрівна Королюк (кандидат технічних наук, доцент)<sup>2</sup>

Анастасія Олександрівна Королюк<sup>2</sup>

Людмила Анатоліївна Коротченко<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

<sup>3</sup> Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна

## НОВИЙ ПІДХІД ЩОДО ПЛАНУВАННЯ МАРШРУТУ ПОЛЬОТУ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

У статті пропонується підхід по формалізації знань про процес планування маршруту польоту безпілотного літального апарату на етапі планування повітряної розвідки за допомогою евристичних методів, які є кращими з точки зору врахування практики, досвіду, інтуїції, знань осіб, які приймають рішення, при веденні повітряної розвідки. Застосування безпілотного літального апарату в умовах вимог і обмежень, льотно-технічних можливостей безпілотного літального апарату, наявність засобів ураження противника передбачає множинну варіантність маршруту польоту, що обумовлює складність у прийнятті обґрунтованого рішення з побудови оптимального маршруту польоту. Як показує досвід практичного застосування безпілотного літального апарату, умови, вимоги, обмеження, що пред'являються до розвідувальних завдань, вплив зовнішніх факторів, облік найважливіших об'єктів для обльоту, можуть суперечити один одному, створюючи невизначеність при наданні пріоритету варіанту при плануванні. Розроблений метод формалізації знань про процес планування польоту безпілотного літального апарату на основі інтервальних нечітких множин типу 2 дозволяє формалізувати фактори, які враховують тактичні умови проведення повітряної розвідки, вплив зовнішнього середовища на дальність польоту безпілотного літального апарату у вигляді лінгвістичних і інтервально-оцінюваних параметрів для кожного варіанта. Запропонований підхід дозволяє сформувати область визначення лінгвістичних змінних, які використовуються для опису тактичних умов проведення повітряної розвідки і впливу зовнішнього середовища на дальність польоту безпілотного літального апарату, сформувати з множини найважливіших об'єктів повітряної розвідки найбільш значущих наземних об'єктів на основі оцінки ступеня недомінуемості елементів.

**Ключові слова:** планування маршруту польоту, інтервальні нечіткі множини типу 2, особа, що приймає рішення, нечітка логічна система, трикутні нечіткі числа, трапецієподібні нечіткі інтервали, знання, формалізація знань

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасні загрози українській державності з боку РФ вимагають пошуку адекватної відповіді на щоденні виклики. Це видається неможливим без теоретико-методологічного осмислення сутності сучасних збройних зіткнень, аналізу, вивченню та узагальненню світового досвіду протистояння воєнній загрози [1-3]. Оборонний характер воєнної доктрини Збройних Сил України (ЗСУ) висуває високі вимоги до всіх елементів бойової готовності і підготовки військ. Збройні Сили повинні бути готові відбити агресію шляхом ведення оборонних дій. Найважливішою задачею командування при

оборонному характері воєнної доктрини стає постійне спостереження за противником, яке повинно забезпечити своєчасний і організований перехід військ з мирного на воєнний стан. Основна роль при цьому відводиться розвідці. Повітряна розвідка є однією з найважливіших умов успіху бойових дій авіації та інших родів військ, завданням якої є своєчасне забезпечення командування і штабів повними і достовірними даними про противника.

Знати замисел противника, розташування його засобів ураження та угруповання, відповідно реагувати – значить досягти успіху в бою. Особа, що приймає рішення, не здатна прийняти

правильне рішення або ефективно застосувати вогневі засоби, якщо вона не організує безперервну активну і цілеспрямовану розвідку, не отримує достовірні відомості про противника. Тому саме в теперішній час безпілотні літальні апарати (БПЛА) розглядаються як ефективний та надійний засіб повітряної розвідки. Завдяки оперативній доставці повної, достовірної інформації про противника досягається успішності ведення бойових дій.

Критерії ефективності планування маршруту польоту розвідувального БПЛА тактичної ланки обумовлюються [3-10]: завданням вищого штабу; можливостями противника щодо зриву розвідувального завдання; часовими параметрами планування та (або) виконання місії; параметрами, які визначають технічні можливості БПЛА. Застосування БПЛА в умовах вимог та обмежень, льотно-технічних можливостей БПЛА, наявність засобів ураження противника передбачає велику множину варіантів маршруту польоту, що обумовлює складність у прийнятті обґрунтованого рішення щодо побудови оптимального маршруту польоту БПЛА. Як доводить досвід практичного застосування БПЛА [1,4], умови, вимоги, обмеження, які висувуються до розвідувальних завдань, вплив зовнішніх факторів, врахування найважливіших об'єктів для польоту можуть суперечити один одному, створюючи невизначеність при наданні пріоритету будь-якому з них під час планування.

Тому виробка рекомендацій щодо планування маршрутів польоту розвідувальних БПЛА на етапі планування повітряної розвідки є актуальним завданням.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Підвищення ефективності повітряної розвідки з БПЛА тактичної ланки є достатньо поширеною науковою проблематикою, яку розглядає ряд вітчизняних та зарубіжних науковців. В [1-3] не враховано факторів впливу зовнішнього середовища, які, у свою чергу, вносять зміни у вихідний результат планування. Наведені фактори впливу враховуються із високим ступенем суб'єктивізму особи, яка планує маршрут польоту. У працях [2-5] розглядаються математичні моделі, які мають за мету підвищення ефективності розвідки з БПЛА шляхом визначення оптимального маршруту польоту за допомогою розрахунку ймовірності виконання завдань розвідки. Проте досвід застосування БПЛА в операції об'єднаних сил на сході України свідчить про необхідність врахування факторів, які впливають на ефективність розвідувальних операцій з БПЛА. Необхідно брати до уваги загрози та обмеження природного та технічного

характеру [6-9], які суттєво впливають на кінцевий результат польотного завдання.

Висока вразливість БПЛА від різних факторів бойової обстановки, низька «інтелектуальність» в автономному режимі через відсутність таких людських якостей, як оперативне ухвалення рішення, можливість перенесення основних зусиль на нові, більш важливі об'єкти, вміння ухилитися від небезпеки і оперативно застосовувати заходи до обману противника, є сьогодні нерозв'язними проблемами, що знижують ефективність бойового застосування сучасних БПЛА та потребують врахування вищеперахованих факторів на етапі планування повітряної розвідки [11-15].

Відомі методи планування маршруту польоту БПЛА можна розділити на дві категорії: детерміновані і евристичні. Детерміновані методи засновані на точних математичних моделях, строго певній послідовності обчислень. Евристичні методи шукають рішення усередині деякого підпростору можливих прийнятних рішень, при чому знайдене ними рішення формально може не бути оптимальним (глобальним екстремумом), воно є найкращим з точки зору повсякденної практики щодо вирішення завдань повітряної розвідки, оснований на досвіді, інтуїції, знаннях особи, що приймає рішення (ОПР).

В рамках досліджуваної предметної області, як правило, фактори, що впливають на планування маршруту, мають нечіткі (розмиті) границі, а для деяких елементів інтервалу не можна з повною впевненістю стверджувати належність цих елементів однозначно до інтервалу. У той же час, деякі параметри району особливої уваги, ширини смуги розвідки, зовнішні фактори традиційно задаються у вигляді лінгвістичних, а не числових значень [17,18]. Представлені подібним чином дані формалізуються, як правило, з використанням математичного апарату нечітких множин [15-20].

Отже, як показав аналіз публікацій за темою дослідження, описана вище задача, має важливість для науки і практики, залишається актуальною та потребує свого вирішення.

**Мета статті.** Розробка методу формалізації знань про процес планування польоту БПЛА на основі інтервальних нечітких множин типу 2 (ІНМТ2) на етапі підготовки до ведення повітряної розвідки в умовах невизначеності з врахуванням факторів, що характеризують тактичні умови проведення розвідувального завдання.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

З математичної точки зору задача формалізації знань про процес планування маршруту польоту БПЛА в ході підготовки до ведення повітряної розвідки можна представити як формалізоване



представлення окремих прогнозованих факторів, що враховують тактичні умови проведення розвідки (границі ділянки фронту для проведення розвідки, розміри глибини оперативної побудови, ширину смуги розвідки, кількість засобів ППО), і вплив зовнішнього середовища на дальність польоту БПЛА (висота польоту, швидкість попутного, зустрічного вітру, швидкість БПЛА, температура повітря). В цих умовах прийнятним підходом є використання методів експертного оцінювання [20]. Значення окремих прогнозованих факторів знаходяться в деяких межах [13-19]. Це пов'язано з тим, що можна вказати діапазон (інтервал) можливих значень даних, але не можна точно визначити (спрогнозувати) їх конкретні значення. Заміна інтервальних величин середніми значеннями істотно знижує вірогідність результатів прогнозування, так як підвищення деталізації припущень про оперативну побудову противника, без достатніх на те підстав, збільшує ймовірність того, що результат прогнозування буде відрізнятися від дійсної обстановки в ході ведення повітряної розвідки.

Виходячи з математичної постановки задачі доцільно використовувати для представлення знань ІНМТ2, які забезпечують формалізацію більшої кількості додаткових ступенів невизначеності, в порівнянні з нечіткими множинами типу 1 (НМТ1), мають меншу обчислювальну складність, в порівнянні з загальними НМТ2. Для ІНМТ2 значення функції приналежності другого порядку незмінні, функція приналежності уніфікована (однорідна), на відміну від загальних НМТ2. ІНМТ2 дозволяють використовувати весь інструментарій інтервальних обчислень, мають значні практичні напрацювання ІНМТ2 і виражаються за допомогою ступеня істинності невизначеності, яка відображає розпливчастість і неточність приналежності елемента до даної множини. ІНМТ2 ( $\tilde{A}$ ) характеризуються функцією приналежності другого типу (порядку)  $\mu_{\tilde{A}}(x, u)$ , де  $x \in X$  і  $u \in J_x^u \subseteq [0, 1]$ ,  $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1$ , що виражається

$$\tilde{A} = \{(x, u, \mu_{\tilde{A}}(x, u)) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x^u \subseteq [0, 1]\}. \quad (1)$$

Дискретне  $\tilde{A}$  можливо представити

$$\tilde{A} = \left\{ \sum_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x) / x \right\} = \left\{ \sum_{i=1}^N \left[ \sum_{k=1}^M f_{x_i}(u_{ik}) / u_{ik} \right] / x_i \right\}, \quad (2)$$

де  $\sum \sum$  об'єднання  $x$  и  $u$ .

Якщо  $f_x(u) = 1, \forall u \in [J_x^u, \bar{J}_x^u] \subseteq [0, 1]$ , то функція приналежності другого типу  $\mu_{\tilde{A}}(x, u)$  виражена нижньою функцією приналежності

першого типу  $J_x^u \equiv \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$  і верхньою функцією приналежності першого типу  $\bar{J}_x^u \equiv \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ , тоді ІНМТ2 можливо представити (3)

$$\tilde{A} = \{(x, u, 1) \mid \forall x \in X, \forall u \in [\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x), \bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)] \subseteq [0, 1]\}. \quad (3)$$

Пропонується для формалізації знань про процес планування маршруту польоту використання трикутних нечітких чисел і трапецієподібних нечітких інтервалів, доцільність використання яких обумовлюється, по-перше, простотою виконання операцій над ними, по-друге, можливістю їх наочної графічної інтерпретації.

У загальному випадку нечітким інтервалом ІНМТ2 будемо називати ІНМТ2  $\tilde{A}_{\Pi}$  з випуклими верхньою і нижньою функціями приналежності, що обмежують площу невизначеності даного ІНМТ2, а нечітким числом ІНМТ2 будемо називати ІНМТ2  $\tilde{A}_{\Delta}$  з випуклими і унімодальними верхньою і нижньою функціями приналежності, що обмежують площу невизначеності даного ІНМТ2.

Особливістю представлення трикутного нечіткого числа (ТНЧ) або трапецієподібного нечіткого інтервалу (ТНІ) в термінах ІНМТ2 є те, що по-перше, ліві і праві межі нечітких величин в термінах ІНМТ2 являють собою не точки, а інтервали невизначеності; по-друге, крайні значення інтервалів невизначеності є границями двох НМТ1, визначених верхньою функцією приналежності  $\bar{\mu}_{\tilde{A}}$  і нижньою функцією приналежності  $\underline{\mu}_{\tilde{A}}$ , які обмежують займану площу невизначеності (FOU) ТНЧ ІНМТ2 або ТНІ ІНМТ2 зверху і знизу відповідно; по-третє, верхня  $\bar{\mu}_{\tilde{A}}$ , и нижня  $\underline{\mu}_{\tilde{A}}$  функції приналежності визначають нормальні випуклі НМТ1 на непустому носії, причому в разі ТНЧ ІНМТ2 це будуть унімодальні нормальні випуклі НМТ1.

Таким чином, пропонується формально FOU ТНЧ ІНМТ2  $\tilde{A}_{\Delta}$  представлення у вигляді кортежу з параметрами

$$FOU(\tilde{A}_{\Delta}) = \langle \alpha_{\underline{\mu}}, \alpha_{\bar{\mu}}, a_{\underline{\mu}}, a_{\bar{\mu}}, \beta_{\underline{\mu}}, \beta_{\bar{\mu}} \rangle \quad (4)$$

де  $\alpha_{\underline{\mu}}$  – лівий коефіцієнт нечіткості  $\bar{\mu}_{\tilde{A}\Delta}$ ;

$\alpha_{\bar{\mu}}$  – лівий коефіцієнт нечіткості  $\underline{\mu}_{\tilde{A}\Delta}$ ;

$a_{\underline{\mu}}$  – центр (модальне значення)  $\bar{\mu}_{\tilde{A}\Delta}$ ;

$a_{\bar{\mu}}$  – центр (модальне значення)  $\underline{\mu}_{\tilde{A}\Delta}$ ;

$\beta_{\underline{\mu}}$  – правий коефіцієнт нечіткості  $\bar{\mu}_{\tilde{A}\Delta}$ ;

$\beta_{\bar{\mu}}$  – правий коефіцієнт нечіткості  $\underline{\mu}_{\tilde{A}\Delta}$ .

При цьому, трикутна верхня функція приналежності  $\bar{\mu}_{\tilde{A}_\Delta}$  FOU( $\tilde{A}_\Delta$ ) породжує нормальне унімодальне випукле НМТ1 на непустому носії - відкритому інтервалі

$[a_\mu^- - \alpha_\mu^-, a_\mu^- + \beta_\mu^-]$ , а трикутна нижня функція приналежності  $\underline{\mu}_{\tilde{A}_\Delta}$  FOU( $\tilde{A}_\Delta$ ) породжує нормальне унімодальне випукле НМТ1 на непустому носії- відкритому інтервалі  $[a_\mu - \alpha_\mu, a_\mu + \beta_\mu]$ .

У загальному випадку, базу правил розрізняють за типом нечітких продукційних правил (в залежності від того, як формально подається висновок правила):

- нечіткі висловлювання;
- чіткі висловлювання;
- функції;

і за структурою нечітких продукційних правил:

- SISO структура реалізує один вхід і один вихід;
- MISO структура реалізує багато входів і один вихід;

MIMO структура реалізує багато входів і багато виходів.

При розробці методу формалізації знань про процес планування польоту БПЛА як нечіткого продукційного правила, що описує наперед заданий варіант маршруту БПЛА, будемо використовувати правила з MISO-структурою, де в якості умов використовуються фактори, що враховують тактичні умови проведення повітряної розвідки, вплив зовнішнього середовища, а в якості висновків використовуються рекомендації відносно доцільної стратегії польоту БПЛА в

конкретних умовах ведення повітряної розвідки (номера варіанта маршруту БПЛА), які формалізовані з використанням ІНМТ2.

Таким чином, метод формалізації знань про процес планування польоту БПЛА на основі ІНМТ2 включає наступні основні етапи (рис. 1):

представлення факторів, що враховують тактичні умови проведення повітряної розвідки, вплив зовнішнього середовища на дальність польоту БПЛА у вигляді визначення лінгвістичної змінної (ЛЗ) для кожного варіанту, що прогнозується;

формування області ЛЗ, що використовують для опису тактичних умов проведення повітряної розвідки та впливу зовнішнього середовища на дальність польоту БПЛА;

формування для кожної ЛЗ терм-множини, в якості елементів якої використовують найменування нечіткої змінної (НЗ), що описують лінгвістичні значення тактичних умов проведення повітряної розвідки, впливу зовнішнього середовища на дальність польоту БПЛА;

опис стратегій польоту БПЛА для кожного можливого варіанту оперативної побудови, впливу зовнішнього середовища;

формування з множини найважливіших об'єктів повітряної розвідки найбільш значимих наземних об'єктів на основі оцінки міри невідомості елементів;

представлення варіантів оперативної побудови, впливу зовнішнього середовища на дальність польоту БПЛА, доцільної стратегії польоту БПЛА у вигляді нечітких продукційних правил, де в якості антецедента, консеквента використовують нечіткі лінгвістичні висловлювання.

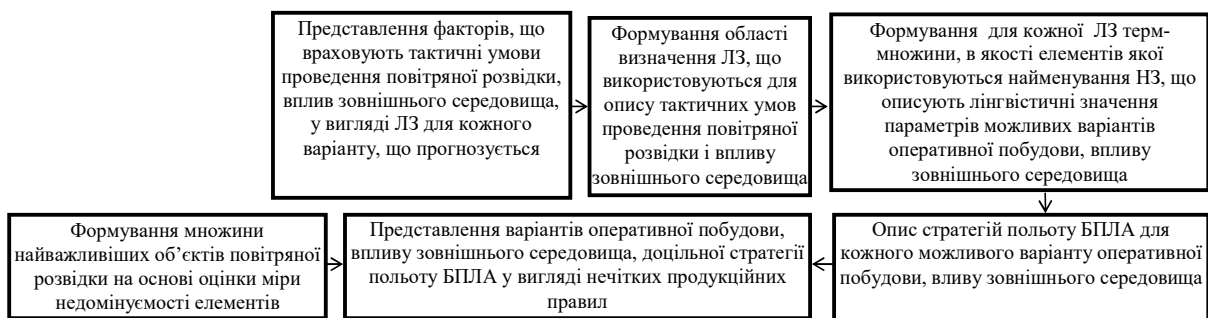


Рис. 1. Структура метода формалізації знань про процес планування польоту БПЛА на основі ІНМТ2 в ході підготовки до ведення повітряної розвідки

Опис факторів, що характеризують тактичну обстановку та вплив зовнішнього середовища, згідно виразу (4), є формальним представленням з точки зору подальшого використання методів нечіткого логічного висновку в рамках нечітких логічних систем інтервального типу 2.

Формальне представлення прогнозованих

факторів, як сукупності нечітких продукційних правил R, для подальшого формування бази правил в рамках розробленого методу здійснюється у вигляді

$$R : \text{IF } \beta_1 \text{ is } \alpha_1 \text{ AND } \dots \text{ AND } \beta_n \text{ is } \alpha_n \text{ THEN } \beta_{n+1} = \alpha_j^p, \quad (5)$$

де  $\beta_i$  – найменування вхідних ЛЗ, що задаються кортежем  $\langle \beta_i, T_i, X_i, M_i \rangle$ ,  $i = 1, \dots, n$  і  $n$  – кількість вхідних ЛЗ;

$T_i = \{ \alpha_i \}$  – множина значень (термів) вхідної ЛЗ правила  $R$ , що задається кортежем  $\langle \alpha_i, X_i, \tilde{A} \rangle$ ,  $i = 1, \dots, n$ , де  $\tilde{A} \subseteq X_i$ ,  $\tilde{A} = \{ x, \mu_{\tilde{A}}(x) \}$  або  $\tilde{A} = \{ ((x, u), 1) \mid \forall x \in X_i, \forall u \in J_x \subseteq U = [0, 1] \}$  – ІНМТ2 на множині  $X_i$ , описує можливі значення, які може приймати НЗ  $\alpha_i \in T_i$ ;

$M_i$  – семантична процедура, яка ставить у відповідність значенням ЛЗ нечітку множину.

Відзначимо, що синтаксична процедура генерування нових значень для ЛЗ  $G_i$  не використовується, так як всі значення ЛЗ в рамках запропонованого підходу визначаються на етапі формування бази правил, а  $\beta_{n+1}$  – найменування вихідної ЛЗ «Доцільна стратегія польоту», що задається кортежем

$$\langle \beta_{n+1}, T_{n+1}, Y, M_{n+1} \rangle, \quad (6)$$

де  $T_{n+1} = A_p = \{ \alpha_j^p \}$  – множина значень (термів) вихідної ЛЗ правила  $R$ , кожне з яких представляє собою рекомендацію по використанню доцільної стратегії польоту БПЛА з урахуванням виду операції;

$Y$  – область значень термів, найменування яких входять в  $T_{n+1}$ , що представляють номер стратегії;

$M_{n+1}$  – семантична процедура, яка має у відповідність значенням ЛЗ одноточечну нечітку множину;

$\alpha_j^p$  – значення терма вихідної ЛЗ у вигляді найменування з множини  $A_p = \{ \alpha_j^p \}$ ,  $j = 1, \dots, m$ ,

$m$  – кількість стратегій.

Мінімальна кількість сформованих нечітких продукційних правил відповідає потужності множини можливих варіантів комбінацій можливих факторів, що характеризують тактичну обстановку і вплив зовнішнього середовища, спрогнозованих, в ході підготовки до ведення повітряної розвідки.

Отже, з точки зору математичної формалізації, нечітке продукційне правило щодо формування стратегії польоту БПЛА розглядається як нечітка імплікація виду

$$\tilde{A} \rightarrow \tilde{B} \quad (7)$$

де  $\tilde{A} \subseteq X$  і  $\tilde{B} \subseteq Y$  – ІНМТ2, що представляють відповідно умови і висновок (що описують можливі значення НЗ), причому  $\tilde{B}$  є одноточечне ІНМТ2 для якого  $\mu_{\tilde{B}}(y) = \frac{1}{1}$  (при поданні ІНМТ2

способом вертикального зрізу),  $X$  – область визначення умови (в загальному випадку  $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$  і відповідно  $\tilde{A} = \tilde{A}_1 \times \tilde{A}_2 \times \dots \times \tilde{A}_n$ ),  $Y$  – область визначення висновку (номера доцільних стратегій польоту).

При цьому забезпечення несуперечності бази правил полягає в тому, щоб не допустити в процесі формування нечітких продукційних правил випадків, коли одна і та ж комбінація термів ЛЗ призводить до визначення різних стратегій польоту БПЛА. Сукупність нечітких продукційних правил у вигляді виразів (5-7) являє собою базу правил.

Таким чином, нечіткі продукційні правила формуються для кожної комбінації факторів, що характеризують тактичну обстановку та вплив зовнішнього середовища на дальність польоту БПЛА, і використовуються в подальшому в якості вхідних даних методу формалізації знань про процес визначення доцільної стратегії польоту БПЛА в ході підготовки до ведення повітряної розвідки на основі НЛС ІТ2.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, досліджено, що для задачі планування маршруту польоту БПЛА на етапі планування повітряної розвідки доцільно використовувати евристичні методи, які шукають рішення усередині деякого підпростору можливих прийнятних рішень і вони є найкращими з точки зору врахування практики, досвіду, інтуїції, знань ОПР при веденні повітряної розвідки. Значення окремих прогнозованих факторів доцільно представляти з використанням математичного апарату нечітких множин. Розроблений метод формалізації знань про процес планування польоту БПЛА на основі ІНМТ2 дозволяє формалізувати фактори, що враховують тактичні умови проведення повітряної розвідки, вплив зовнішнього середовища на дальність польоту БПЛА у вигляді лінгвістичних і інтервально-оцінюваних параметрів для кожного варіанту, які дозволяють врахувати невизначеність; формувати область визначення лінгвістичних змінних, що використовують для опису тактичних умов проведення повітряної розвідки та впливу зовнішнього середовища на дальність польоту БПЛА; формувати з множини найважливіших об'єктів повітряної розвідки найбільш значимих наземних об'єктів на основі оцінки міри невідомості елементів; формалізувати стратегії польоту БПЛА для кожного можливого варіанту оперативної побудови, впливу зовнішнього середовища у вигляді нечітких продукційних правил, де в якості антецедента, консеквента використовують нечіткі лінгвістичні висловлювання.

*Література*

- 1. Камінський В.В.** Аналіз застосування безпілотних літальних апаратів в сучасних збройних конфліктах та АТО на Сході України / В.В. Камінський, В.В. Тюрін, О.А. Корщець, Н.О. Королук // Наука і оборона. – 2017. – № 3(4). – С.4-8. **2. Степанов Г.С.** Погляди щодо проблемних питань застосування Повітряних Сил в протиповітряній обороні / Г.С. Степанов, В.В. Камінський, М.А. Павленко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2018. – №1(30). – С. 18-23. **3. Камінський В.В.** Боротьба з повітряним тероризмом має починатися з землі / В.В. Камінський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – № 1(14). – С. 16-23. **4. Олизаренко С.А.** Нечеткие множества типа 2. Терминология и представление / С.А. Олизаренко, Е.В. Брежнев, А.В. Перепелица // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2010. – Вып. 8(89). – С. 131–140. **5. Олизаренко С.А.** Интервальные нечеткие множества типа 2. Терминология, представление, операции / С.А. Олизаренко, А.В. Перепелица, В.А. Капранов // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2011. – Вып. 2(92). – С. 39 – 45. **6. Королук Н.О.** Обґрунтування сучасного підходу щодо автоматизації процесів прийняття рішень по управлінню авіацією / Н.О. Королук, О.В.Першин, Т.О. Грідньова, С.О. Шевченко // Збірник наукових праць. - 2019. - №1(59). – С.32-39. **7. Saaty, T.** “Structures in decision making: On the subjective geometry of hierarchies and networks [on line]”. European Journal of Operational Research, vol. 199, is. 3, 2009, p. 867–872. **8. Королук Н.О.** Процедура формалізації даних, які використовуються при описі процесу управління рухом повітряних об’єктів / Н.О. Королук, Р.В. Корольов, О.А. Корщець // Збірник наукових праць ХНУПС. – 2017. – № 4(53). – С.103-106. **9. Korolyuk, N.** “An approach to prediction of the telecommunication network quality parameters under the conditions of non-stochastic uncertainty”, Telecommunications and Radio Engineering, Issue 11. Volume 76, 2017. Pages 1027-1032. **10. Королук Н.О.** Удосконалення програмного забезпечення комплексів засобів автоматизації при розпізнаванні типу повітряного об’єкта / Н.О.Королук, В.В. Синявський, Д.О. Хаустов // Системи озброєння і військової техніки. – 2017. – № 1(49). – С. 67-80. **11. Тимочко О.І.** Метод оцінки ступеня небезпеки нештатних ситуацій у повітряному просторі / О.І. Тимочко, П.П. Зусь // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 1(26). – С. 49-53. Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления / В.Е. Ярушек, В.П. Прохоров, А.В. Мишин, Б.Н. Судаков. – Х.: ХУВС, 2011. – 355 с. **12. Ротштейн О.П.** Діагностика на базі нечітких відношень в умовах невизначеності: моногр. / О.П. Ротштейн, Г. Б. Ракитянська. – Вінниця: Універсум, 2006 – 275 с. **13. Korolyuk, N.** (2014), “Hybrid model of knowledge for situation recognition in airspace”, Automatic Control and Computer Sciences, Vol. 49, pp.16-25. **14. Alimpiev, A.** (2017), “Selecting a model of unmanned aerial vehicle to accept it for military purposes with regard to expert data” P.Berdnik, N.Korolyuk, O.Korshets, M. Pavlenko, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774. - №1/ 9 (85 pp 53-60. **15. Hnagras, H.** Introduction to Interval Type-2 Fuzzy Logic Controllers – Towards Better Uncertainty Handling in Real World Applications / Hani Hnagras, Christian Wagner // IEEE eNewsletter. Systems, Man and Cybernetics Society. – Issue 27. –June 2009. **16. Mendel, J.** Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple / J.M. Mendel, R.I. John, Feilong Liu // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – December 2006. – Vol. 14, no. 6. – P. 808-821. **17. Пермяков О.Ю.** Інформаційно – телекомунікаційні технології і сучасна збройна боротьба / О.Ю. Пермяков, Н.О. Королук // Науково-технічна конференція молодих учених «Актуальні проблеми інформаційних технологій» (20-21 листопада 2018 року). - Київ: НУОУ, 2018. - С. 5-6. **18. Mendel, J.** Standard Background Material About Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems / J.M. Mendel, H. Hnagras, R.I. John // IEEE CIS Standards Committee [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://iee-cis.org/technical/standards/>. **19. Wu, H.** Uncertainty Bounds and Their Use in the Design of Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems / H. Wu, J.M. Mendel // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – October 2002. – Vol. 10, no. 5. – P. 622-639. **20. Wu, D.** Enhanced Karnik-Mendel Algorithms / D. Wu, J.M. Mendel // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – August 2009. – Vol. 17, no. 4. – P. 923-934. **21. Mendel, J.** On centroid calculations for Type-2 Fuzzy Sets / J.M. Mendel // Appl. Comput. Math. – 2011. – V.10, no.1, Special Issue. – P. 88-96.

**НОВЫЙ ПОДХОД ПРО ПЛАНИРОВАНИЮ МАРШРУТА ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ**

*Александр Юрьевич Пермяков (доктор технических наук, профессор)<sup>1</sup>*  
*Наталья Александровна Королук (кандидат технических наук, доцент)<sup>2</sup>*  
*Анастасия Александровна Королук<sup>2</sup>*  
*Людмила Анатольевна Коротченко<sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup> *Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени И. Кожедуба, Харьков*

<sup>3</sup> *Военный институт телекоммуникаций и информатизации имени Героев Крут, Киев, Украина*

*В статье предлагается подход по формализации знаний о процессе планирования маршрута полета беспилотного летательного аппарата на этапе планирования воздушной разведки с помощью эвристических методов, которые являются лучшими с точки зрения учета практики, опыта, интуиции, знаний лиц, принимающих решения, при ведении воздушной разведки. Применение беспилотного летательного аппарата в условиях требований и ограничений, летно-технических возможностей беспилотного летательного аппарата, наличие средств поражения противника предполагает большое множество вариантов маршрута полета, что обуславливает сложность в принятии обоснованного решения по построению оптимального маршрута полета беспилотного летательного аппарата. Как показывает опыт практического применения БПЛ, условия, требования, ограничения, предъявляемые к разведывательным задачам, влияние внешних факторов, учет важнейших объектов для облета, могут противоречить друг другу, создавая неопределенность при предоставлении приоритета любому из них при планировании. Разработанный метод формализации знаний о процессе планирования полета БПЛ на основе ИНМТ2 позволяет формализовать факторы, учитывающие тактические условия проведения воздушной разведки, влияние внешней среды на дальность полета беспилотного летательного аппарата в виде лингвистических и интервально-оцениваемых параметров для каждого варианта, которые позволяют учесть неопределенность; формировать область определения лингвистических переменных, используемых для описания тактических условий проведения воздушной разведки и влияния внешней среды на дальность полета беспилотного летательного аппарата; формировать из множества важнейших объектов воздушной разведки наиболее значимых наземных объектов на основе оценки степени недоминантности элементов; формализовать стратегии полета беспилотного летательного аппарата для каждого возможного варианта оперативного построения, влияния внешней среды в виде нечетких продукционных правил, где в качестве антецедента, консеквента используют нечеткие лингвистические выражения.*

**Ключевые слова:** планирование маршрута полета, интервальные нечеткие множества типа 2, лицо, принимающее решение, нечеткая логическая система, треугольные нечеткие числа, трапециевидные нечеткие интервалы, знания, формализация знаний

## **A NEW APPROACH TO PLANNING THE FLIGHT ROUTE OF UNMANNED AIRCRAFT BASED ON FUZZY SETS**

**Oleksandr Permiakov** (Doctor of technical sciences, professor)<sup>1</sup>  
**Natalia Korolyuk** (Candidate of Technical Sciences, associate professor)<sup>2</sup>  
**Anastasiia Korolyuk**<sup>2</sup>  
**Liudmyla Korotchenko**<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> *Kharkiv national Air Forces University named after I. Kozhedub, Kharkiv, Ukraine*

<sup>3</sup> *Military Institute of Telecommunications and Informatization named after Heroes Krut, Kiev, Ukraine*

*The article proposes an approach to formalize knowledge about the process of planning the flight route of an unmanned aerial vehicle at the stage of planning aerial reconnaissance using heuristic methods that are the best in terms of taking into account the practice, experience, intuition, knowledge of decision-makers when conducting aerial reconnaissance. The use of an unmanned aerial vehicle in the conditions of requirements and restrictions, the flight technical capabilities of an unmanned aerial vehicle, the availability of means of destruction of the enemy suggests a large variety of flight route options, which makes it difficult to make an informed decision on building the optimal flight route for an unmanned aerial vehicle. As the experience of the practical application of submarines shows, the conditions, requirements, restrictions imposed on reconnaissance tasks, the influence of external factors, the account of the most important objects for overflight, can contradict each other, creating uncertainty when giving priority to any of them in planning. The developed method of formalizing knowledge about the process of flight planning of an unmanned aerial vehicle based on INMT2 allows one to formalize factors that take into account the tactical conditions for conducting aerial reconnaissance, the influence of the external environment on the flight range of an unmanned aerial vehicle in the form of linguistic and interval-estimated parameters for each option, which allow taking into account uncertainty; to form the domain of definition of linguistic variables used to describe the tactical conditions for conducting aerial reconnaissance and the influence of the external environment on the flight range of an unmanned aerial vehicle; to form the most significant ground objects from the set of the most important objects of aerial reconnaissance on the basis of an assessment of the degree of non-dominance of elements; to formalize the flight strategies of an unmanned aerial vehicle for each possible variant of operational construction, the*

*influence of the external environment in the form of fuzzy production rules, where fuzzy linguistic expressions are used as an antecedent, consequent.*

**Keywords:** *flight route planning, interval fuzzy sets of type 2, decision maker, fuzzy logical system, triangular fuzzy numbers, trapezoidal fuzzy intervals, knowledge, knowledge formalization*

### References

1. **Kaminskiy, V.V.**, Analysis of application of UAF in modern armed conflicts on East of Ukraine / V.V. Kaminskiy, V.V. Turin, // Science and defensive. - 2017. - № 3 (4). - P.4-8.
2. **Stepanov, G.S.**, Kaminskiy, V.V., Pavlenko, M.A. (2018), "Take a look at the problematic power supply of the Reconciled Forces in the prototype defense", [Pohlyady odnosytel'no problemnykh voprosam! Zastosuvannya Povitryanykh Syl v protipovitryaniy oboronii], Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, No. 1(30), pp.18-23.
3. **Kaminskiy, V.V.**, (2014), "The fight against air terrorism must begin with land", [Borotba z povitryanim terorizmom mac pochynatisya z zemli], Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, No. 1(14), pp. 16-23.
4. **Olizarenko, S.A.**, Brezhnev, Ye.V., Perepelitsa, A.V. (2010), "Nechetkiye mnozhestva tipa 2. Terminologiya i predstavleniye" [Nechitki mnozhyny typu 2. Terminolohiya i uyavleniya], Systems for processing information, VIP. 8(89). pp. 131–140.
5. **Olizarenko, S.A.**, Perepelitsa, A.V., Kapranov, V.A. (2011), "Interval fuzzy sets of type 2. Terminology, representation, operations" [Interval'nyye nechetkiye mnozhestva tipa 2. Terminologiya, predstavleniye, operatsii], Systems for processing information, VIP. 2 (92), pp. 39 - 45.
6. **Korolyuk, N.**, Pershin, A. (2019), "Ground of modern method in relation to the avtomatic processes of making decision for by the aviation's" [Osnova suchasnoho metodu shchodo avtomatychnykh protsesiv pryynyattya rishennya aviatsiyeyu], Collection of scientific works, №1 (59), pp. 32-39.
7. **Saaty, T.**, (2009), "Structures in decision making: On the subjective geometry of hierarchies and networks [on line]", European Journal of Operational Research, vol. 199, is. 3, pp. 867–872.
8. **Korolyuk, N.O.**, Korolov, R.V. and Korshets, O.A., (2017), "Procedura formalizacii danih, yaki vikoristovuyut'sya pri opisi procesu upravlinnya ruhom povitryanih ob'ektiv", [Procedure for formalizing data used in describing the process of controlling the movement of air objects], Communication, radio engineering, acoustics and navigation. pp. 103-106.
9. **Korolyuk, N.**, (2017), "An approach to prediction of the telecommunication network quality parameters under the conditions of non-stochastic uncertainty", Telecommunications and Radio Engineering, Issue 11. Volume 76, pp. 1027-1032.
10. **Korolyuk, N.O.**, Sinyavsky, V.V. and Haustov, D.O. (2017), "Udoskonalennya programnogo zabezpechennya kompleksiv zasobiv avtomatizacii pri rozpiznavanni tipu povitryanogo ob'ekta", [Improvement of software of complexes of automation means when recognizing the type of air object], Systems of armament and military equipment, No. 1(49), pp. 67-80.
11. **Timochko, O.I.**, and Zuyev, P.P. (2017), "Metod ocinki stupenya nebezpeki neshtatnih situacij u povitryanomu prostori", [Method of estimation of the degree of danger of abnormal situations in the air space], Science and technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, No. 1(26), pp. 49-53.
12. **Yarushek, V.E.**, Prokhorov, V.P., Mishin, A.V. and Sudacov, B.N. (2011), "Teoreticheskie osnovy avtomatizacii processov vyrabotki reshenij v sistemah upravleniya", [Theoretion bases of automation of decision-making processes in control systems], KNAFU, 355 p.
13. **Rotshtein O. P.**, (2006) "Diahnostyka na bazi nechitkikh vidnoshen' v uslovyakh nevizna-chenosti", [Diagnosis based on fuzzy relationships in conditions of uncertainty ], Vinnica, MD, 275 p.
14. **Korolyuk, N.**, (2014) , "Hybrid model of knowledge for situation recognition in airspace", Automatic Control and Computer Sciences, Vol. 49, pp.16-25.
15. **Alimpiev, A.**, (2017), "Selecting a model of unmanned aerial vehicle to accept it for military purposes with regard to expert data" P.Berdnik, N.Korolyuk, O.Korshets, M. Pavlenko, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774. - №1/ 9 (85 pp 53-60.
16. **Hagras, H.**, Introduction to Interval Type-2 Fuzzy Logic Controllers – Towards Better Uncertainty Handling in Real World Applications / Hani Hagras, Christian Wagner // IEEE eNewsletter. Systems, Man and Cybernetics Society. – Issue 27. –June 2009.
17. **Mendel, J.M.**, Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple / J.M. Mendel, R.I. John, Feilong Liu // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – December 2006. – Vol. 14, no. 6. – P. 808-821.
18. **Permiakov, O.**, Korolyuk, N. (2018), "Informatsiyno – telekomunikatsiyni tekhnolohiyi i suchasna zbroyna borot'ba" [Information and telecommunication technologies and modern armed struggle], Scientific and technical conference of young scientists "Actual problems of information technologies", Kiev, MD, pp. 5-6.
19. **Mendel, J.M.**, Standard Background Material About Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems / J.M. Mendel, H. Hagras, R.I. John // IEEE CIS Standards Committee [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: <http://iee-cis.org/technical/standards/>.
20. **Wu, H.**, Uncertainty Bounds and Their Use in the Design of Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems / H. Wu, J.M. Mendel // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – October 2002. – Vol. 10, no. 5. – P. 622-639.
21. **Wu, D.**, Enhanced Karnik-Mendel Algorithms / D. Wu, J.M. Mendel // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – August 2009. – Vol. 17, no. 4. – P. 923-934.

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

Володимир Вікторович Герасименко (кандидат військових наук)<sup>2</sup>

Володимир Валерійович Коваль (кандидат військових наук, с.н.с.)<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ, Україна

## МЕТОД ФОРМУВАННЯ СПІЛЬНОЇ АВІАЦІЙНОЇ ГРУПИ

Сьогодні, все частіше з'являється інформація щодо спільних польотів пілотованої та безпілотної авіації для виконання єдиного завдання. Користь такого симбіозу полягає у підвищенні ефективності бойового застосування авіації, збереженні життя льотного складу, зниженні витрат на виконання завдання, зростанні можливостей щодо відновлення боєздатності тощо. Але постає проблема, яким чином керувати формуванням спільних авіаційних груп пілотованої та безпілотної авіації у польоті? Який математичний апарат існує сьогодні, що дозволить ефективно, відповідно до визначених критеріїв, керувати авіацією у складі спільних авіаційних груп?

Метою статті є розв'язання вищезазначеної проблеми шляхом застосування положень теорій класичної механіки та динаміки складних механічних систем. Актуальність проблематики пояснюється тим, що серед великої кількості задач, пов'язаних з управлінням складними механічними системами, задача формування потрібної (заданої) конфігурації є найбільш затребуваною та поліваріантною, залежною від початкових умов.

За кінцеву мету формалізації процесу формування спільної авіаційної групи вважатимемо формування конфігурації складної механічної системи шляхом двокритеріальної оптимізації за мінімальний час з мінімумом витрат енергії. При цьому рух кожного з елементів системи будемо описувати диференційними рівняннями.

Запропонований порядок розв'язання задачі оптимального управління конфігурацією спільної авіаційної групи пілотованої та безпілотної авіації складає основу методу формування спільної авіаційної групи, який з метою зменшення потрібного часу на розрахунки може бути реалізований у нейронній мережі, що підвищить загальну ефективність симбіотичного (спільного) бойового застосування пілотованої та безпілотної авіації.

**Ключові слова:** спільна авіаційна група, складна механічна система, класична механіка, динаміка механічних систем, диференційне рівняння, управління конфігурацією, формування бойового порядку.

### Вступ

Одним з сучасних напрямів розвитку світової та української воєнної думки є бойове застосування роботизованих систем, зокрема безпілотної авіаційних комплексів (БпАК), яке має на меті замінити людину на полі бою, зберігши при цьому високу ефективність досягнення кінцевої мети воєнних дій. В якості аргументів можна навести успіхи бойового застосування БпАК у Сирійській Арабській Республіці та Нагірному Карабаху. Але, на думку авторів, бойове застосування сучасної авіації не повинне обмежуватись застосуванням тільки безпілотної літальних апаратів, а еволюційно розвиватися з поступовим переходом від відокремленого бойового застосування пілотованої та безпілотної авіації, до їх спільного

бойового застосування.

**Постановка проблеми.** Вочевидь, що ефективність такого бойового застосування у спільних бойових порядках буде значно перевищувати ефективність окремого застосування пілотованої та безпілотної авіації саме за рахунок поєднання їх сильних та взаємної компенсації слабких сторін. Таким чином, виникає проблема управління формуванням спільного бойового порядку пілотованої та безпілотної авіації, що є складною як у теоретичному, так і у практичному розумінні, а розв'язання цієї проблеми у науковій спільноті не набуло широкого розмаху і є актуальним науковим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загальноприйняті підходи застосування положень теорій класичної механіки та динаміки складних механічних систем, опису та формалізації складної механічної системи наведені у [1-4]. Але широке коло задач з управління складними механічними системами, а саме задача формування потрібної конфігурації складної механічної системи, є найменш вивченими [5-8]. В останні роки, з'являються матеріали щодо застосування програмних комплексів для вирішення задач пов'язаних з робототехнікою з точки зору моделювання динамічних систем [9-12].

Переваги реалізації процедури пошуку оптимальних управлінь складною механічною системою з наданням траєкторії руху у вигляді суми експонент наведені у [13-14].

**Метою статті** є розв'язання проблеми формування у польоті спільного бойового порядку пілотованої та безпілотної авіації застосувавши положення теорій класичної механіки та динаміки складних механічних систем, формалізація та оптимізація процесу формування конфігурації складної механічної системи за критеріями часу та мінімуму енергетичних витрат, що складатиме основу методу формування спільної авіаційної групи.

### Виклад основного матеріалу дослідження

З метою формалізації процесу формування спільної авіаційної групи, за кінцеву мету вважатимемо формування конфігурації складної механічної системи шляхом двокритеріальної оптимізації. Припустимо, необхідно зібрати  $N$  елементів механічної системи у визначеній частині простору за мінімальний час з мінімумом витрат енергії. При цьому рух кожного з елементів системи описується диференційними рівняннями вигляду

$$\begin{aligned} A_j(p)x_j(t) &= b_j u_j(t), \\ A_j(p) &= \sum_{k=0}^n a_{jk} p^k, \\ p &= \frac{d}{dt}(\cdot), \quad j = \overline{1, N}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $x_j$  – вихідна змінна;

$u_j$  – управління, коефіцієнти  $a_{jk}$  і  $b_j$  відомі.

Покладемо, що  $a_{jk} = 1$ .

Розв'яжемо задачу створення управління  $u^N(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_N(t)) \in U$  для  $t \in [0, T]$ , під дією якого система (1) буде зведена з початкового стану  $x_j(0) = x_{0j}^0$ ,  $\dot{x}_j(0) = x_{1j}^0, \dots, x_j^{(n-1)}(0) = x_{n-1,j}^0, x_j^{(n)}(0) = x_{n,j}^0$  в кінцевий  $x_j^{(i)}(T), i = \overline{0, n-1}; j = \overline{1, N}$ , по траєкторіях деякого класу  $x_j^*(t)$  за мінімально можливий час  $T(u^N)$  і при цьому дає оптимальне значення деякому функціоналу якості  $I_N(T, u^N)$ .

Якщо бажані траєкторії руху  $x_j^*(t)$  як функції часу диференційовані необхідне число разів, то клас управлінь, що їх реалізує, визначається як

$$u_j^*(t) = b_j^{-1} A_j(p) x_j^*(t). \quad (2)$$

Певні переваги при реалізації процедури пошуку оптимальних управлінь пов'язані з зображенням траєкторії руху у вигляді суми експонент [9,10].

При заданні  $x_j^*(t)$  у вигляді

$$x_j^*(t) = \sum_{v=1}^n C_{vj} e^{\lambda_{vj} t}, \quad (3)$$

де  $C_{vj}$  – постійні параметри, що визначаються початковим станом системи, а  $\lambda_{vj} = \{\lambda_{1j}, \dots, \lambda_{kj}\}$ , маємо можливість на основі програмного управління (2) одержати управління з оберненим зв'язком

$$u_j^*(x_i, \dot{x}_j, \dots, x_j^{(n-1)}) = b_j^{-1} \sum_{\mu=0}^{n-1} V_{\mu j} x_j^{(\mu)}. \quad (4)$$

Коефіцієнти  $V_{\mu j}$  однозначно визначаються характеристиками об'єктів управління і виглядом бажаних траєкторій.

Записуючи функціонал якості  $I_N(T, u^N)$  і  $T(u^N)$  як функцію параметрів траєкторії і управління – вектору  $\lambda_j$ , переходимо від задачі оптимального управління до задачі математичного програмування такого вигляду: знайти  $c$  і  $\min T(\lambda_{1j}, \dots, \lambda_{kj})$  при обмеженнях  $\lambda_j \in \Lambda$ , область  $\Lambda$  визначається з умови  $u_j^*(\lambda_j, t) \in U$  для  $t \in [0, T]$ .

Розв'язок цієї задачі, що однозначно визначає шукане управління  $u^N$ , ускладнюється багатокритеріальністю. Можливий шлях розв'язання задачі, що полягає у зведенні її до однокритеріальної [11] (знаходження  $\min W(\lambda_{1j}, \dots, \lambda_{kj}) = h I_N(\lambda_{1j}, \dots, \lambda_{kj}) + g T(\lambda_{1j}, \dots, \lambda_{kj})$ ), через труднощі зумовлені визначенням  $h$  і  $g$ , пов'язаний з великими обчислювальними витратами. Уникнемо зазначених труднощів за рахунок організації двоетапної процедури оптимізації.

З постановки задачі випливає, що мінімальний час, витрачений на формування конфігурації системи, буде не менший за час, необхідний для переведення у кінцевий стан елемента системи, яка знаходиться у найгірших умовах, і для нього розв'язуємо задачу оптимальної швидкодії (визначаємо  $T^*$ ). Потім розв'язуємо задачу відшукування

$$\min I_j(\lambda_{1j}, \dots, \lambda_{kj}, T^*), \quad j = \overline{1, N-1}.$$

Пошук елемента, що знаходиться у найгірших, з



точки зору швидкодії, умовах, здійснюємо виходячи з вигляду  $A_i(p)$  і  $x_j^{(i)}(0), j = \overline{1, N}; i = \overline{0, n}$ .

Нехай рух кожного з елементів системи підпорядковується закону

$$\ddot{x}_j + a_j \dot{x}_j + b_j x_j = u_j(t), \quad j = \overline{1, N}$$

і в початковий момент часу вони знаходяться в стані  $(\alpha_{1j}, \alpha_{2j})$ . Знайдемо управління, що переводить систему (5) в кінцевий стан  $(\varepsilon_j, \varepsilon'_j)$  –  $\varepsilon$ -околиця точки  $(0,0)$  за мінімально можливий час  $T$  з мінімальною витратою енергії  $I_0 = \sum_{j=1}^N \int_0^T u_j^2(t) dt$  при  $|u_j| \leq u_j^0$ .

Пошук оптимальних траєкторій здійснимо у класі траєкторій вигляду

$$x_j^*(t) = c_{1j} e^{\lambda_{1j} t} + c_{2j} e^{\lambda_{2j} t}; \quad \lambda_{1j}, \lambda_{2j} < 0.$$

Тоді

$$u_j^*(t) = c_{1j}(\lambda_{1j}^2 + a_j \lambda_{1j} + b_j) e^{\lambda_{1j} t} + c_{2j}(\lambda_{2j}^2 + a_j \lambda_{2j} + b_j) e^{\lambda_{2j} t}.$$

Виходячи з початкових умов,

$$\begin{aligned} c_{1j} &= \frac{\alpha_{1j} \lambda_{2j} - \alpha_{2j}}{\lambda_{2j} - \lambda_{1j}}, \\ c_{2j} &= \frac{\alpha_{2j} - \lambda_{1j} \alpha_{1j}}{\lambda_{2j} - \lambda_{1j}}, \\ j &= \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (6)$$

Припустимо, що з величин  $\{a_j\}_{j=1}^N, \{b_j\}_{j=1}^N, \{(\alpha_{1j}, \alpha_{2j})\}_{j=1}^N$  вдалося визначити, що найгіршим, з точки зору швидкості, є  $N$ -й об'єкт. Знайдемо для нього мінімально можливий час збору  $T^*$ . Область припустимих управлінь  $u_N$  визначається з співвідношення

$$\left| \frac{(\alpha_{1N} \lambda_{2N} - \alpha_{2N})(\lambda_{1N}^2 + a_N \lambda_{1N} + b_N) e^{\lambda_{1N} t} + (\alpha_{2N} - \lambda_{1N} \alpha_{1N})(\lambda_{2N}^2 + a_N \lambda_{2N} + b_N) e^{\lambda_{2N} t}}{\lambda_{2N} - \lambda_{1N}} \right| \leq u^0. \quad (7)$$

Виходячи з умови  $\lambda_{1N}, \lambda_{2N} < 0$  і вибираючи  $\lambda_{1N} > \lambda_{2N}$ , одержимо, що для виконання (7) досить виконання цієї нерівності при  $t=0$ . Тоді після відповідних повторень одержимо

$$\lambda_{1N} \leq \frac{u^0 - b_N \alpha_{1N} - a_N \alpha_{2N} + \alpha_{2N} \lambda_{2N}}{\lambda_{2N} \alpha_{1N} - \alpha_{2N}}. \quad (8)$$

Час  $T$  як функцію змінних  $\lambda_{1N}$  та  $\lambda_{2N}$  доцільно визирати із співвідношення ( $\varepsilon'_N = 0$ )

$$\frac{\alpha_{1N} \lambda_{2N} - \alpha_{2N}}{\lambda_{2N} - \lambda_{1N}} \lambda_{1N} e^{\lambda_{1N} t} + \frac{\alpha_{2N} - \lambda_{1N} \alpha_{1N}}{\lambda_{2N} - \lambda_{1N}} \lambda_{2N} e^{\lambda_{2N} t} = 0, \quad (9)$$

$$T = \frac{1}{\lambda_{2N} - \lambda_{1N}} \ln \left[ \frac{\lambda_{1N} (\alpha_{1N} \lambda_{2N} - \alpha_{2N})}{\lambda_{2N} (\alpha_{1N} \lambda_{1N} - \alpha_{2N})} \right].$$

Знайдемо

$$T^* = \min T(\lambda_{1N}, \lambda_{2N}), \quad \lambda_{1N}, \lambda_{2N} \in u_N.$$

Проаналізувавши (9) і часткові похідні  $\frac{\partial T}{\partial \lambda_{1N}}$ ,

$$\lambda_{2N}^* = \frac{\alpha_{2N}}{\alpha_{1N}} - \left[ \varepsilon_N \frac{\lambda_{2N}^2 \alpha_{1N} - 2 \lambda_{2N} \alpha_{2N} - \beta}{(\lambda_{2N} \alpha_{1N} - \alpha_{2N})^2} + \frac{\lambda_{2N} (\alpha_{2N} \alpha_{1N} - 2 \alpha_{2N}) - \beta}{\lambda_{2N} \alpha_{1N} - 2 \lambda_{2N} \alpha_{2N} - \beta} \times \left( \frac{\beta + \alpha_{2N} \lambda_{2N}}{\lambda_{2N} \alpha_{1N} - 2 \lambda_{2N} \alpha_{2N} - \beta} \right)^{\frac{(\beta + \alpha_{2N} \lambda_{2N})(\alpha_{1N} \lambda_{2N} - \alpha_{2N})}{\lambda_{2N} (\alpha_{2N}^2 + \beta \alpha_{1N})}} \right] \times \left[ \frac{\lambda_{2N} (\lambda_{2N} \alpha_{1N} - \alpha_{2N})}{\lambda_{2N} \alpha_{1N} - 2 \lambda_{2N} \alpha_{2N} - \beta} \right]^{\frac{(\beta + \alpha_{2N} \lambda_{2N})(\alpha_{1N} \lambda_{2N} - \alpha_{2N})}{\lambda_{2N} (\alpha_{2N}^2 + \beta \alpha_{1N})}} \times \frac{\lambda_{2N}^2 \alpha_{1N} - 2 \lambda_{2N} \alpha_{2N} - \beta}{\lambda_{1N} (\lambda_{2N} \alpha_{1N} - \alpha_{2N})}. \quad (12)$$

Одержавши  $\lambda_{2N}^*$  за формулою (12), з (11) та (10) знаходимо  $T^*$  і  $\lambda_{1N}^*$ . Управління даного класу можна виразити через поточні координати системи. Це дозволяє створити керовані системи із зворотним зв'язком

$$u_N^*(t) = (\lambda_{1N}^* + \lambda_{2N}^* + a_N) \dot{x}(t) - (\lambda_{1N}^* \lambda_{2N}^* - b_N) x(t). \quad (13)$$

$\frac{\partial T}{\partial \lambda_{2N}}$ , відмітимо, що шуканий розв'язок  $(\lambda_{1N}^*, \lambda_{2N}^*)$ , знаходиться на межі області  $u_N$

$$\lambda_{1N} = \frac{u^0 - b_N \alpha_{1N} - a_N \alpha_{2N} + \alpha_{2N} \lambda_{2N}}{\lambda_{2N} \alpha_{1N} - \alpha_{2N}}. \quad (10)$$

При зробленому раніше припущенні  $\lambda_{1N} > \lambda_{2N}$  область пошуку скоротиться до множини точок межі

$$\Gamma(u'_N: u'_N \subset u_N / \lambda_{2N} > \lambda_{1N}).$$

Тоді

$$T = \frac{\lambda_{2N} \alpha_{1N} - \alpha_{2N}}{\lambda_{2N}^2 \alpha_{1N} - 2 \lambda_{2N} \alpha_{2N} - \beta} \ln \left[ \frac{(\beta + \alpha_{2N} \lambda_{2N})(\alpha_{1N} \lambda_{2N} - \alpha_{2N})}{\lambda_{2N} (\alpha_{2N}^2 + \beta \alpha_{1N})} \right], \quad (11)$$

де  $\beta = u^0 (b_N \alpha_{1N} + a_N \alpha_{2N})$ . Вважаючи кінцевий стан  $(\varepsilon_N, 0)$ , одержимо ітераційну формулу визначення  $\lambda_{2N}^*$

Отже, мінімальний час переходу системи у кінцевий стан знайдено. Тепер винайдемо управління  $u_j^*(t), j = \overline{1, N-1}$ , що переводить решту елементів у кінцевий стан з мінімальними витратами енергії. Область допустимих значень, аналогічно  $u_N$ , визначається відповідно до виразів виду (8).

Розглянемо функціонал якості

$$I_j = \int_0^T u_j^2(t) dt, \quad I_j \cong -\frac{c_{1j}^2}{2\lambda_{1j}} (\lambda_{1j}^2 + a_j \lambda_{1j} + b_j)^2 - \frac{c_{2j}^2}{2\lambda_{2j}} (\lambda_{2j}^2 + a_j \lambda_{2j} + b_j)^2 - \frac{2c_{1j}c_{2j}}{\lambda_{1j} + \lambda_{2j}} (\lambda_{1j}^2 + a_j \lambda_{1j} + b_j)(\lambda_{2j}^2 + a_j \lambda_{2j} + b_j). \quad (14)$$

Таким чином, параметри оптимального управління  $\lambda_{1N}^*$  та  $\lambda_{2N}^*$  можуть бути винайденими з розв'язання наступної задачі математичного програмування: знайти  $\min I_j(\lambda_{1j}, \lambda_{2j}) = I_j^*$ ,  $\lambda_j \in \Lambda$ , область  $\Lambda$  визначається з умови  $u_j^*(\lambda_j, t) \in U$ , при обмеженнях  $\lambda_{1j}, \lambda_{2j} < 0$  і вибираючи  $\lambda_{1j} \neq \lambda_{2j}$ ;

$$\lambda_{1j} \leq \frac{u^0 - b_j \alpha_{1j} - a_j \alpha_{2j} + \alpha_{2j} \lambda_{2j}}{\lambda_{2j} \alpha_{1j} - \alpha_{2j}},$$

$$\frac{\alpha_{1j} \lambda_{2j} - \alpha_{2j}}{\lambda_{2j} - \lambda_{1j}} e^{\lambda_{2j} T} + \frac{\alpha_{2j} - \lambda_{1j} \alpha_{1j}}{\lambda_{2j} - \lambda_{1j}} e^{\lambda_{1j} T} \leq \varepsilon_j,$$

$$\frac{\alpha_{1j} \lambda_{2j} - \alpha_{2j}}{\lambda_{2j} - \lambda_{1j}} \lambda_{2j} e^{\lambda_{2j} T} + \frac{\alpha_{2j} - \lambda_{1j} \alpha_{1j}}{\lambda_{2j} - \lambda_{1j}} \lambda_{1j} e^{\lambda_{1j} T} \leq \varepsilon_j'.$$

За одержаними  $\lambda_{1N}^*$  та  $\lambda_{2N}^*$ ,  $j = \overline{1, N-1}$ , відповідно, виразами (14) та (13) визначаються

### Література

1. Голдштейн Г. Классическая механика. – М.: Наука, 1975. – 415 с.
2. Парс А.А. Аналитическая динамика. – М.: Наука, 1971. – 635 с.
3. Раус Э. Динамика системы твердых тел. Пер. с англ. в 2-х томах. Том 1. Под ред. Ю.А. Архангельского и В.Г.Дёмина. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 464 с.
4. Ланцош К. Вариационные принципы механики. – М.: Мир, 1965. – 408 с.
5. Артюшин Л.М. Задачи управления конфигурацией механической системы // Прикл. механика. К.: АН УССР, 1987. – 23, № 2. – С. 89–95.
6. Артюшин Л.М. Оптимальное управление формированием конфигурации механической системы. Докл. АН УССР. Кибернетика и вычислительная техника. Серия А. Физ.-мат. и техн. науки. К.: АН УССР, 1987. – № 11. С. 65–68.
7. Коренев В.Г. Цель и приспособляемость движений. – М.: Наука, 1974. – 528 с.
8. E. Bakker, H. Pacejka, L. Linder: A new tyre model with an application in vehicle dynamics studies. SAE Paper

значення функціоналу якості  $I_j^*$  та управління  $u_j^*(t)$  для системи із зворотнім зв'язком.

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Запропонований метод розв'язання задачі оптимального управління конфігурацією складної механічної системи, в якості якої розглядається спільна авіаційна група пілотованої та безпілотної авіації, що формується у польоті, може бути реалізований у нейронній мережі з метою зменшення часу виконання бойового завдання за рахунок зменшення часу на формування спільного бойового порядку, що у свою чергу підвищить загальну ефективність симбіотичного (спільного) бойового застосування пілотованої та безпілотної авіації.

890087 (1989).

9. Аюпов В.В. Математическое моделирование технических систем: учебное пособие. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2017. – 242 с.
10. Смолин И.Ю. Основы аналитической динамики (введение в аналитическую механику). Курс лекций. – Томск: ТГУ, 2007. – 32 с.
11. Mastinu Giampiero, Gobbi Massimiliano, Miano Carlo. Optimal Design of Complex Mechanical Systems: With Applications To Vehicle Engineering (2007), 403 p.
12. S.S. You, Y.H. Chai: Multi-objective control synthesis: an application to 4ws passenger vehicles. Mechatronics 9 (1999).
13. Крутько П.Д. Обратные задачи динамики управляемых систем: Линейные модели. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
14. Павлов В.В. Инвариантность и автономность нелинейных систем управления. – К.: Наук. думка, 1971. – 270 с.
15. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике. Т.1. – М.: Мир, 1986. – 349 с.

### МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СОВМЕСТНОЙ АВИАЦИОННОЙ ГРУППЫ

Леонид Михайлович Артюшин (доктор технических наук, профессор)<sup>1</sup>

Владимир Викторович Герасименко (кандидат военных наук)<sup>2</sup>

Коваль Владимир Валериевич (кандидат военных наук, с.н.с.)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Государственный научно-исследовательский институт авиации Украины, Киев, Украина

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

<sup>3</sup>Генеральный штаб Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина

Сегодня, все чаще появляется информация о совместных полетах пилотируемой и беспилотной авиации для выполнения единой задачи. Польза такого симбиоза заключается в повышении эффективности боевого применения авиации, сохранении жизни летного состава, снижении затрат на выполнение задания, росте возможностей по восстановлению боеспособности и т.д. Но возникает проблема, каким образом управлять формированием совместных авиационных групп пилотируемой и беспилотной авиации в полете? Какой математический аппарат существует сегодня, что позволит эффективно, в соответствии с определенными критериями, управлять авиацией в составе совместных авиационных групп?

Целью статьи является решение вышеупомянутой проблемы путем применения положений теорий классической механики и динамики сложных механических систем. Актуальность проблематики объясняется тем, что среди большого количества задач, связанных с управлением сложными механическими системами, задача формирования нужной (заданной) конфигурации является наиболее востребованной и многовариантной, зависящей от начальных условий.

Конечной целью формализации процесса формирования совместной авиационной группы будем считать формирование конфигурации сложной механической системы путем двухкритериальной оптимизации за минимальное время с минимумом затрат энергии. При этом движение каждого из элементов системы будем описывать дифференциальными уравнениями.

Предложенный порядок решения задачи оптимального управления конфигурацией совместной авиационной группы пилотируемой и беспилотной авиации составляет основу метода формирования совместной авиационной группы, с целью уменьшения потребного времени на расчеты может быть реализован в нейронной сети, повысит общую эффективность симбиотического (совместного) боевого применения пилотируемой и беспилотной авиации.

**Ключевые слова:** совместная авиационная группа, сложная механическая система, классическая механика, динамика механических систем, дифференциальное уравнение, управление конфигурацией, формирование боевого порядка.

## THE METHOD OF A JOINT AVIATION GROUP FORMING

*Leonid Artyushin (Doctor of technical sciences, Professor)<sup>1</sup>*

*Volodymyr Herasymenko (Candidate of military sciences)<sup>2</sup>*

*Volodymyr Koval (Candidate of military sciences, Senior Research Fellow)<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*State Aviation Research Institute of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

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

<sup>3</sup>*General Staff of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

*Today, more information appears about joint flights of manned and unmanned aviation to perform a common task. The benefit of this symbiosis lies in increasing the effectiveness of the aviation combat mission, saving the life of personnel, reducing the cost of completing a mission, increasing the ability to restore combat effectiveness, etc. But the problem arises of how to manage the formation of joint aviation groups of manned and unmanned aviation in flight? What mathematical apparatus exists today that will make it possible to effectively, in accordance with certain criteria, manage aviation as part of joint aviation groups?*

*The aim of the article is to solve the above problem by applying the provisions of the theories of classical mechanics and dynamics of complex mechanical systems. The relevance of the problem is explained by the fact that among the large number of problems associated with the control of complex mechanical systems, the problem of forming the required (given) configuration is the most popular and multivariate, depending on the initial conditions.*

*The ultimate goal of formalizing the process of forming a joint aviation group will be the formation of a configuration of a complex mechanical system by means of two-criteria optimization in a minimum time with a minimum of energy consumption. In this case, the motion of each of the elements of the system will be described by differential equations.*

*The proposed procedure for solving the problem of optimal configuration control of a joint aviation group of manned and unmanned aviation forms the basis of the method a joint aviation group forming, in order to reduce the time required for calculations, it can be implemented in a neural network, and will increase the overall efficiency of symbiotic (joint) combat mission of manned and unmanned aviation.*

*Key words:* joint aviation group, complex mechanical system, classical mechanics, dynamics of mechanical systems, differential equation, configuration control, combat group formation.

### References

1. **Goldsteyn G.** (1975), Klassicheskaya mehanika [Classical mechanics]. Moscow, 415 p.
2. **Pars A.A.** (1971), Analiticheskaya dinamika [Analytical dynamics]. – Moscow, 635 p.
3. **Raus E.** (1983), Dinamika sistemyi tverdyih tel. [Dynamics of the system of solids], Tom 1, Moscow, 464 p.
4. **Lantsosh K.** (1965), Variatsionnyie printsipy mehaniki. [Variational principles of mechanics], Moscow, 408 p.
5. **Artyushin L.M.** (1987), Zadachi upravleniya konfiguratsiey mehanicheskoy sistemyi [Mechanical system configuration control problems], Prykl. mehanika, Kyiv, AN URSSR, pp. 89–95.
6. **Artyushin L.M.** (1987), Optimalnoe upravlenie formirovaniem konfiguratsii mehanicheskoy sistemyi. [Optimal control of the formation of the configuration of the mechanical system], Dopov. AN URSSR. Kibernetika ta obchysluvalna tehnika, Seriya A, Fiz.-mat. i tehn. nauky, Kyiv, AN URSSR, pp. 65–68.
7. **Korenev V.G.** (1974), Tsel i prisposoblyаемost dvizheniy. [Goal and adaptability of movements], – Moscow, Nauka, 528 p.
8. **E. Bakker**, H. Pacejka, L. Linder. (1989), A new type model with an application in vehicle dynamics studies. SAE Paper.
9. **Ayupov V.V.** (2017), Matematicheskoe modelirovanie tehnikeskikh sistem. [Mathematical modeling of technical systems], Perm: IPTs «Prokrost», 242 p.
10. **Smolin I.Yu.** (2007), Osnovy analiticheskoy dinamiki (vvedenie v analiticheskuyu mehaniku). [Fundamentals of analytical dynamics (introduction to analytical mechanics)], Tomsk, TGU, 32 p.
11. **Mastinu Giampiero**, Gobbi Massimiliano, Miano Carlo. (2007), Optimal Design of Complex Mechanical Systems: With Applications To Vehicle Engineering, 403 p.
12. **S.S. You**, Y.H. Chai. (1999), Multi-objective control synthesis: an application to 4ws passenger vehicles. Mechatronics 9.
13. **Krutko P.D.** (1987), Obratnyie zadachi dinamiki upravlyaemyih sistem: Lineynnye modeli. [Inverse problems of the dynamics of controlled systems: Linear models], Moscow, Nauka, 304 p.
14. **Pavlov V.V.** (1971), Invariantnost i avtonomnost nelineynyih sistem upravleniya. [Invariance and autonomy of nonlinear control systems], Kyiv, Nauk. dumka, 270 p.
15. **Rekleytis G.**, Reyvindran A., Regsdel K. (1986), Optimizatsiya v tehnike. [Optimization in technology], T.I, Moscow, Mir, 349 p.

Михайло Григорович Лозовий<sup>1</sup>

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

Ігор Олександрович Власов (кандидат військових наук, доцент)<sup>1</sup>

Микола Миколайович Чапля (кандидат медичних наук)<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Медичний реабілітаційний центр МВС України "Перлина Прикарпаття", Трускавець, Україна

## ДОСВІД ОРГАНІЗАЦІЇ МЕДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬК (СИЛ) В ОПЕРАЦІЇ ОБ'ЄДНАНИХ СИЛ

Вивчення особливостей роботи медичної служби Збройних Сил України щодо планування, організації та реалізації медичного забезпечення в мирний та воєнний час в різноманітних умовах є пріоритетним напрямком її діяльності. Відповідно вимогам керівних документів медичне забезпечення військ (сил) повинно бути організовано в будь-яких умовах діяльності військ (сил): як при веденні бойових дій, так і в умовах повсякденної діяльності військ (сил). В умовах сучасної гібридної війни на організацію медичного забезпечення військ (сил) впливають фактори оперативної, бойової, медичної та тилової обстановки. Тому для планування медичного забезпечення військ (сил) в Операції об'єднаних сил (АТО) необхідно ці фактори вивчити, проаналізувати їх вплив на організацію медичного забезпечення, зробити висновки і на їх підставі прийняти рішення на організацію медичного забезпечення. В статті розглядаються питання, що стосуються факторів, які впливають на організацію медичного забезпечення військових частин і з'єднань, загальних принципів застосування сил медичної служби в ООС (АТО), особливостей їх застосування в різні періоди операції.

Метою даної статті є вивчення умов діяльності медичної служби під час проведення ООС (АТО), загальних принципів і способів застосування сил і засобів медичної служби ЗС України під час проведення ООС. Автори розглядають порядок (варіанти) використання прийомів скорочення часу для надання першої лікарської, кваліфікованої та спеціалізованої медичної допомоги шляхом створення нових медичних формувань (підрозділів), які раніше не були передбачені, а також інтеграційними процесами в систему цивільної охорони здоров'я. Визначається, що вказані шляхи використання сил і засобів медичної служби як МО України, так і МОЗ України суттєво скорочують терміни надання першої лікарської, кваліфікованої та спеціалізованої медичної допомоги військовослужбовцям ЗС України.

**Ключові слова:** медичне забезпечення, лікувально-евакуаційні заходи, вид медичної допомоги, військовий мобільний госпіталь, цивільна охорона здоров'я, кваліфікована медична допомога.

### Вступ

В умовах особливого періоду в країні, коли продовження бойових дій на сході України, періодичних загострень і розширення військового протистояння супроводжується появою поранених (уражених, хворих), виникає необхідність надання їм своєчасної медичної допомоги, повноцінного лікування та медичної реабілітації з метою відновлення їх боєздатності і працездатності. Актуальним питанням в системі організації лікувально-евакуаційного забезпечення в ході бойових дій завжди залишається реалізація принципу своєчасного надання відповідного виду медичної допомоги пораненим і хворим військовослужбовцям.

Вирішення цього питання за досвідом організації медичного забезпечення в локальних війнах і збройних конфліктах сучасності здійснювалось різними способами, у тому числі і різноманітними варіантами застосування сил і засобів медичної служби. Вивчення форм і способів застосування сил і засобів медичної служби в ході проведення операції Об'єднаних сил (ООС) дозволяє удосконалити реалізацію принципу своєчасності в наданні певного виду медичної допомоги пораненим і хворим військовослужбовцям та втілити його в бойову практику медичної служби.

**Постановка проблеми.** Аналіз організації лікувально-евакуаційного забезпечення бойових дій в зоні ООС за перші місяці представниками Світового конгресу Українців свідчить, що кваліфікована медична допомога пораненим надавалася через 16-36 годин, а у серпні 2014 року – через 4-24 години, тобто перевищувала терміни надання в 2-3 рази. Причини – відсутність своєчасної евакуації з поля бою до установ надання кваліфікованої медичної допомоги; використання лише автомобілів для евакуації при недостатній кількості повітряних засобів; відсутність сил і засобів медичної служби спроможних надавати кваліфіковану медичну допомогу і наближених до переднього краю та ін. Починаючи з 5-6 години після поранення, незалежно від якості кваліфікованої хірургічної допомоги, що надається, інтенсивність збільшення смертності та інвалідності й кількість тих, що не повертаються у стрій, зростає [1].

Тому вирішення питання скорочення термінів надання усіх видів медичної допомоги є актуальною проблемою воєнної медицини в локальних війнах та збройних конфліктах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** свідчить про необхідність суттєвого перегляду концепції організації лікувально-евакуаційних заходів в ході збройних конфліктів і локальних

війн, особливо в їх підготовчий і початковий період.

В останні роки визначено, що існуючий стан медичного забезпечення Збройних Сил України не відповідає реальним потребам військ (сил) як повсякденній діяльності, так і під час їх застосування (у тому числі й в ході ООС), а також сучасним вимогам щодо медичного забезпечення військ держав-членів НАТО. Визначені основні системні проблеми медичного забезпечення, серед яких невідповідність організаційно-штатної структури медичної служби ЗС України завданням та сучасній тактиці застосування військ (сил), а також відсутність достатньої кількості підготовленого персоналу для комплектування медичних підрозділів військових частин і з'єднань, військово-медичних закладів [2].

Вагомий внесок у розвиток системи лікувально-евакуаційного забезпечення внесли керівні документи та роботи [3–5]. У них обґрунтована необхідність концептуального перегляду системи лікувально-евакуаційних заходів, особливо своєчасності надання медичної допомоги, яка реалізується шляхом дотримання вимог принципу 10-1-2, що означає надання домедичної допомоги не пізніше 10 хвилин після поранення, надання першої лікарської допомоги протягом однієї години та невідкладних заходів кваліфікованої (першої хірургічної) допомоги не пізніше двох годин з моменту поранення.

У роботі [6] автори визначають необхідність прискорення інтеграційних процесів складових загальнодержавної системи охорони здоров'я з метою створення єдиного медичного простору держави.

Роботи [7, 8] присвячені розгляду сучасних тенденцій надання медичної допомоги пораненим і хворим в ході збройних конфліктів різної інтенсивності (у тому числі в ООС) і локальних війнах. Однак в них в недостатній мірі розглядаються питання надання певних видів медичної допомоги в умовах ООС.

**Метою статті** є розгляд застосування способів удосконалення надання певних видів медичної допомоги в умовах ООС, перегляд концептуальних підходів до організації лікувально-евакуаційних заходів за досвідом організації медичного забезпечення в локальних війнах і збройних конфліктах.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Медичне забезпечення є окремим видом забезпечення Збройних Сил України і являє собою систему заходів, щодо збереження та зміцнення здоров'я особового складу, запобігання виникненню і розповсюдженню хвороби, надання медичної допомоги військовослужбовцям, лікування і відновлення їх працездатності та боездатності після поранень, захворювань і травм.

Медичне забезпечення включає організаційні, лікувально-евакуаційні, санітарно-гігієнічні та протиепідемічні заходи, медичне постачання, підготовку військово-медичних кадрів і наукове вирішення проблем військової медицини.

Основою медичного забезпечення військ у воєнний час є система лікувально-евакуаційних заходів, яка передбачає організацію надання медичної допомоги пораненим, ураженим,

постраждалим та хворим. Лікувально-евакуаційні заходи включають розшук, збір та винос (вивіз) поранених з поля бою або вогнищ масових санітарних втрат, надання їм необхідних видів медичної допомоги, евакуацію, лікування та медичну реабілітацію. Сутність сучасної системи лікувально-евакуаційних заходів полягає в етапному лікуванні поранених з їх евакуацією за призначенням з використанням медичних підрозділів військових частин, мобільних і стаціонарних військово-медичних закладів та максимальним залученням існуючої мережі цивільних закладів охорони здоров'я [7].

На організацію медичного забезпечення військових частин (з'єднань) в антитерористичній операції впливають склад оперативного угруповання військ (сил), поєднання різних видів бойових дій стабілізаційні, оборонні, наступальні бойові дії) під час проведення антитерористичної операції; активність оборони з широким застосуванням маневру військ і нанесенням контрударів, відсутність єдиного фронту та глибокого ешелонування бойових порядків; використання цивільних закладів охорони здоров'я як етапів медичної евакуації; постійна загроза проведення диверсій, терористичних актів на етапах медичної евакуації; загроза виникнення осередків масових санітарних втрат серед цивільного населення внаслідок терористичних актів на об'єктах інфраструктури, небезпечних об'єктах з виникненням хімічного, біологічного та радіаційного забруднення; необхідність ретельного проведення санітарно-гігієнічних та протиепідемічних заходів у разі відносно тривалого перебування військ в обороні.

Загальними принципами медичного забезпечення військ (сил) в антитерористичній операції є: організація якнайшвидшого розшуку, вивозу поранених та хворих та їх вивозу з осередку виникнення санітарних втрат; наближення сил та засобів медичної служби до військ (сил), що забезпечуються, з метою найшвидшого проведення лікувально-евакуаційних, санітарно-гігієнічних і протиепідемічних заходів; скорочення обсягу медичної допомоги, особливо на етапах медичної евакуації, що знаходяться на напрямку ймовірного удару противника, і швидка евакуація поранених та хворих з районів, що знаходяться під загрозою захоплення (оточення) противником; надання допомоги медичній службі військових частин (з'єднань) шляхом маневру в їх інтересах і підсилення відповідними силами та засобами старшого начальника медичної служби; постійна готовність етапів медичної евакуації до переміщення разом з пораненими і хворими на запасні площадки; постійна готовність сил та засобів медичної служби до здійснення лікувально-евакуаційних заходів під час ліквідації наслідків застосування противником засобів масового ураження, організації і своєчасного проведення ефективних заходів медичної служби щодо захисту особового складу військ, етапів медичної евакуації від зброї масового ураження та від хімічних, біологічних та радіаційних чинників під час руйнування небезпечних об'єктів промисловості.

Під час підготовки до проведення

антитерористичної операції угруповання сил і засобів медичної служби створюються відповідно до оперативної побудови (бойового порядку) оперативного угруповання військ (сил).

У цей період проводиться планування медичного забезпечення військ (сил), ставляться завдання підлеглим, здійснюється підготовка сил і засобів медичної служби та проводяться необхідні заходи медичної служби серед особового складу військ (сил).

Підготовка медичної служби до проведення операції включає: планування медичного забезпечення військ (сил), уточнення і постановку завдань підрозділам, частинам та закладам медичної служби; евакуацію поранених та хворих із підрозділів та закладів медичної служби; розгортання медичних пунктів батальйонів, медичних рот бригад, військових мобільних госпіталів у визначених районах залежно від характеру у майбутніх бойових дій військ (сил); доукомплектування підрозділів (частин, закладів) медичної служби особовим складом і транспортом; підсилення силами та засобами медичної служби цивільних лікувальних закладів, що будуть використовуватися як етап медичної евакуації; поповнення витрат медичного майна, створення необхідних його запасів; забезпечення особового складу військ індивідуальними засобами медичного захисту та навчання правилам користування ними; створення необхідного резерву сил та засобів медичної служби; організацію і проведення медичної розвідки; організацію і проведення необхідних санітарно-гігієнічних та протиепідемічних заходів; проведення заходів щодо захисту сил та засобів медичної служби від засобів ураження противника, організації їх охорони та оборони; проведення занять з військово-медичної підготовки з особовим складом військових частин і спеціальної підготовки з особовим складом медичної служби.

У Збройних Силах України в процесі проведення лікувально-евакуаційних заходів в особливий період і в ході ООС передбачалось надання першої медичної (домедичної) допомоги, долікарської (фельдшерської) допомоги, першої лікарської допомоги, кваліфікованої медичної допомоги, спеціалізованої та високоспеціалізованої медичної допомоги та медичної реабілітації. Вид медичної допомоги - це певний перелік (комплекс) лікувально-діагностичних та лікувально-евакуаційних заходів, що проводяться при пораненнях і захворюваннях особовим складом військ та медичною службою на полі бою, в осередках санітарних втрат і на етапах медичної евакуації [7].

Медична допомога та лікування поранених, уражених і хворих повинна надаватись на етапах медичної евакуації, які формуються за рахунок медичних пунктів військових частин (підрозділів), медичних рот бригад та військових мобільних госпіталів, що розгортаються в певній послідовності на евакуаційних напрямках, а також стаціонарних військових або цивільних закладів охорони здоров'я.

Дослідження останніх років переконливо доводять, що в збереженні життя пораненого першочергове значення мають найпростіші, але

необхідні й достатні заходи, які здійснюються протягом 30 хвилин після поранення. Від них значною мірою залежить також запобігання ускладненням та інвалідності й імовірність повернення поранених до строю. А ці показники сприяють поповненню особовим складом військових частин і з'єднань, що зазнали втрат у бойових діях, отже, відновленню їх боєздатності.

Іншим, не менш важливим, пріоритетом є своєчасне надання пораненим (постраждалим) невідкладної, ранньої кваліфікованої та спеціалізованої медичної допомоги. Згідно с сучасними вимогами до медичного забезпечення населення за надзвичайних ситуацій, своєчасною вважається медична допомога, що надається після ураження протягом термінів, які тривають: перша допомога - до 30 хв, долікарська - 1-2 год, перша лікарська 4-6 год, кваліфікована - 8-12 год, спеціалізована - до 24 год [2].

Бойові дії в ході антитерористичної операції велись переважно ротними та батальйонними тактичними групами. Медична служба роти була представлена санітарним інструктором, якій на оснащенні мав сумку медичну військову, розраховану на надання першої медичної допомоги 30 пораненим, а також 2 лямки медичні носильні, лямку медичну спеціальну, ключ для відкриття люків БМП, тобто на рівні ротної ланки передбачалось надання першої медичної допомоги самими військовослужбовцями у порядку самодопомоги та взаємодопомоги, а також молодшим медичним складом - стрільцями-санітарами взводів під керівництвом санітарного інструктора роти, а також нештатними санітарами-носильниками.

Медична служба батальйону була представлена начальником МПБ - фельдшером або лікарем, санітарним інструктором, санітарами, водіями санітарами тощо. Усього 9 осіб. На оснащенні передбачалось мати 4 санітарних автомобіля УАЗ-3962 та іншу техніку. Така структура медичної служби батальйонної ланки дозволяла надавати долікарську (фельдшерську) допомогу або елементи першої лікарської допомоги, якщо МПБ очолював лікар.

В подальшому першу лікарську допомогу передбачалось надавати в медичних пунктах частин, які очолювали лікарі загальної практики (медичні пункти полків, артилерійських бригад, окремих частин), першу лікарську допомогу з невідкладними заходами кваліфікованої медичної допомоги передбачалось надавати в медичних ротах бригад, військових мобільних і стаціонарних госпіталів.

Закінчення надання кваліфікованої медичної допомоги та надання спеціалізованої медичної допомоги - у військово-мобільних і стаціонарних госпіталях, військово-медичних клінічних центрах ГВКГ. Так концептуально будувалась система лікувально-евакуаційного забезпечення військ (сил) на початку антитерористичної операції.

У результаті невідповідності організаційно-штатної структури медичної служби Збройних Сил України завданням та сучасній тактиці застосування військ (сил), відсутності достатньої кількості підготовленого персоналу для комплектування медичних підрозділів військових частин і з'єднань, військово-медичних закладів, відсутності сучасного комплектно-табельного

оснащення для надання медичної допомоги та низький рівень матеріально-технічного забезпечення медичних підрозділів військових частин і з'єднань та мобільних військово-медичних закладів (відсутність сучасного санітарно-технічного обладнання, модулів, наметового фонду засобів зв'язку тощо), досвіду організації медичної допомоги пораненим і хворим в ході ООС, а також відповідності вимогам держав-членів НАТО щодо медичного забезпечення військ(сил), концепція організації лікувально-евакуаційних заходів була переглянута [2].

З початком антитерористичної операції кваліфікована медична допомога пораненим надавалася через 16-36 годин, а у серпні 2014 року - через 4-24 години, тобто перевищувала терміни надання в 2-3 рази. Причина - відсутня евакуація з поля бою до установ надання кваліфікованої медичної допомоги, використання лише автомобілів до евакуації, недостатня передова шпитальна база, слабка та застаріла їх матеріальна база, недостатньо повітряних засобів евакуації [8]. У судово-медичній практиці випадки ненадання своєчасної медичної допомоги частіше виникають через значну кровотечу, шок, черепно-мозкову травму та механічну асфіксію. Ці стани є головними причинами смерті поранених на ТВД та в осередку катастрофи. Але їх зазвичай списують на складність оперативної обстановки або на брак медичних ресурсів там, де в них виникає непередбачена потреба. Так фактично виправдовується смерть тисяч бійців (постраждалих) через недосконалу систему лікувально-евакуаційного забезпечення та недоліки в організації медичної допомоги [5].

В ході ООС для надання кваліфікованої хірургічної допомоги (переважно невідкладних заходів) за рахунок військових мобільних госпіталів створювались мобільні лікарсько-сестринські бригади у складі лікаря-хірурга, лікаря-анестезіолога, операційної сестри, медсестри-анестезистки, молодшого медичного персоналу і були оснащені АП-2, автомобільним санітарним транспортом. Вказані формування використовували для підсилення батальйонних тактичних груп, що давало можливість надавати першу лікарську і елементи кваліфікованої хірургічної допомоги на рівні батальйону.

Аналогічний спосіб застосування сил і засобів медичної служби відносилися і до ротних тактичних груп - вони підсилювались лікарями загальної практики, які мали на оснащенті медичне майно, розраховане для надання першої лікарської допомоги пораненим і хворим.

Тобто, в ході начального періоду антитерористичної операції з метою найшвидшого проведення лікувально-евакуаційних заходів і скорочення термінів надання першої лікарської та кваліфікованої медичної допомоги використовувався принцип наближення сил та засобів медичної служби до військ (сил), що забезпечуються(рис 1).

Таким способом застосування сил і засобів медичної служби було значно скорочений час надання кваліфікованої хірургічної допомоги: з 16-36 годин у перші місяці та 14-24 години у

серпні 2014 року [8] до від 1,5 – 6 годин до 12 один у наступні періоди операції (рис 2).

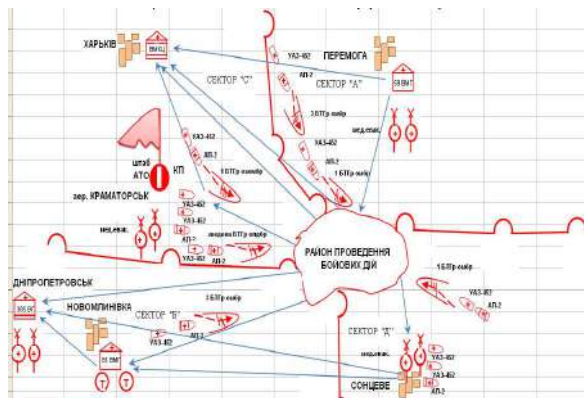


Рис 1. Організація медичного забезпечення на тактичному рівні в зоні АТО

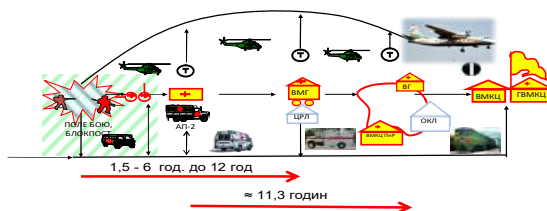


Рис.2. Лікувальне забезпечення в ході начального періоду антитерористичної операції

Основними етапами надання кваліфікованої хірургічної допомоги в системі лікувально-евакуаційного забезпечення військ в початковий період і в ході антитерористичної операції передбачались медичні роти бригад (передові хірургічні групи, які розгортаються самостійно в польових умовах, на базі цивільних закладів охорони здоров'я або на тактичному рівні) та військові мобільні госпіталі, що розгортаються частково чи повністю в польових умовах або на базі цивільних закладів охорони здоров'я.

Військовий мобільний госпіталь є спеціалізованим, багато профільним, мобільним лікувальним закладом охорони здоров'я ЗС України, що призначений для надання кваліфікованої та окремих елементів спеціалізованої медичної допомоги пораненим, травмованим, ураженим, хворим військовослужбовцям та цивільним особам, за визначеним рівнем і обсягом з подальшою евакуацією за призначенням в лікувальні заклади вищого рівня в умовах мирного часу та особливий період, відповідно до вимог законодавства та положень міжнародного гуманітарного права [9]. Кожний військовий мобільний госпіталь розрахований на надання медичної допомоги пораненим та хворим зі складу 2-3 бригад. Військові мобільні госпіталі передаються в оперативне підпорядкування начальника медичної служби оперативного угруповання військ, що ведуть бойові дії.

За досвідом медичного забезпечення Збройних Сил України та інших військових формувань під час антитерористичної операції (операції об'єднаних сил) цивільні заклади охорони здоров'я залучені до системи лікувально-евакуаційних заходів нарівні з військовими



мобільними госпіталями. Так, у районних (міських) лікарнях, що розташовані в районах проведення бойових дій на території Донецької та Луганської областей, підсилених групами військових лікарів здійснюється прийняття та сортування поранених, проведення діагностичних заходів хірургічної допомоги, проведення реанімаційних і протишокових заходів та тимчасове утримання до евакуації [10].

У подальшому проводиться медична евакуація у стаціонарні військові або цивільні заклади охорони здоров'я, що розташовані в межах операційної зони, зокрема в умовах проведення антитерористичної операції (операції об'єднаних сил) в містах Запоріжжя, Харків та Дніпро (обласна клінічна лікарня імені Мечнікова). На цьому рівні надається кваліфікована і спеціалізована медична допомога (діагностика та необхідне стаціонарне лікування поранених в зоні бойових дій з метою їх найшвидшого повернення до строю або направлення на наступний етап евакуації [10].

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Досвід організації надання кваліфікованої медичної допомоги в ході антитерористичної

операції (операції об'єднаних сил) свідчить про ефективність способу наближення відповідних мобільних медичних груп до військ (сил), що дає можливість суттєвого скорочення часу надання першої лікарської та кваліфікованої допомоги.

Другою тенденцією удосконалення системи лікувально-евакуаційного забезпечення військ за досвідом медичного забезпечення військ (сил) в ході антитерористичної операції (операції об'єднаних сил) є залучення цивільних закладів охорони здоров'я до системи лікувально-евакуаційних заходів нарівні з військовими мобільними госпіталями для надання кваліфікованої та елементів спеціалізованої медичної допомоги.

Лікувально-евакуаційні заходи в системі медичного забезпечення військ у бойових умовах за досвідом антитерористичної операції (операції об'єднаних сил), локальних війн і збройних конфліктів концептуально повинні здійснюватися за рівнями медичного забезпечення.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на удосконалення порядку залучення системи цивільної охорони здоров'я для надання спеціалізованої та високоспеціалізованої медичної допомоги пораненим військовослужбовцям.

### Література

1. Лозовий М.Г. Визначення першочергових напрямків зниження безповоротних втрат особового складу у сучасних збройних конфліктах // Лозовий М.Г., Воробійов О.М., Власов І.О. // Збірник наукових праць Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського "Труди університету". – 2015. – №1(128). – С. 179 – 182. 2. Концепція Програми розвитку системи медичного забезпечення Збройних Сил України на період до 2020 року, затвердженої Наказом МОУ 26 липня 2017 року № 389. 3. Постанова Кабінету Міністрів України від 31. 10. 18 № 910 "Про затвердження Воєнно-медичної доктрини України". 4. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 24. 05. 17 №352-р "Деякі питання медичного забезпечення військовослужбовців, осіб рядового і начальницького складу та поліцейських, які беруть участь в антитерористичній операції та здійсненні заходів із забезпечення національної безпеки і оборони, відсічі і стримування збройної агресії Російської Федерації у Донецькій та Луганській області". 5. Сохін О.О., Булах

О.Ю., Черней Л.М. Стратегія збереження життя поранених у сучасних війнах та за надзвичайних ситуацій мирного часу // Наука і оборона, - 2006. - №1. – с. 44 – 48. 6. В.Л. Савицький, О.М. Власенко, В.І. Стрижено, О. Ю. Булах Система медичного забезпечення військ (сил) – складова загальнодержавної політики охорони здоров'я громадян України Наука і оборона 2014 №2. С.27-33. 7. Методичні рекомендації з організації роботи цивільних закладів охорони здоров'я щодо надання вторинної (спеціалізованої) та третинної (високоспеціалізованої) медичної допомоги військовослужбовцям Збройних Сил України та інших військових формувань за ред. Хоменка І.П. та Галушки А.М. Київ-2019, 137с. 8. Звіт Департаменту воєнної політики та стратегічного планування Міністерства оборони України від 29 вересня 2014 р. № 230/2/1535. 9. Доктрина "Медичні сили Збройних Сил України". 10. Наказ МОУ від 09. 07. 2018 № 258 Про затвердження Керівництва з медичної евакуації у Збройних Силах України.

## ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЙСК (СИЛ) В ОПЕРАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ СИЛ

Михаил Григорьевич Лозовой <sup>1</sup>

Олег Михайлович Воробьев (доктор технических наук, профессор) <sup>1</sup>

Игорь Александрович Власов (кандидат военных наук, доцент) <sup>1</sup>

Николай Николаевич Чапля (кандидат медицинских наук) <sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> *Медицинский реабилитационный центр МВД Украины "Жемчужина Прикарпатья", Трускавец, Украина*

*Изучение особенностей работы медицинской службы Вооруженных Сил Украины по планированию, организации и реализации медицинского обеспечения в мирное и военное время в различных условиях является приоритетным направлением ее деятельности. В соответствии с требованиями руководящих документов медицинское обеспечение войск (сил) должно быть организовано в любых условиях действий войск (сил): как при ведении боевых действий, так и в условиях повседневной деятельности. В условиях современной гибридной войны на организацию медицинского обеспечения войск (сил) влияют факторы оперативной, боевой, медицинской и тыловой обстановки. Поэтому, для планирования медицинского обеспечения войск (сил) в операции объединенных сил (ООС) (антитеррористической операции (АТО)) необходимо эти факторы изучить и проанализировать их влияние на организацию медицинского обеспечения. В статье рассматриваются вопросы, касающиеся*

факторов, влияющих на организацию медицинского обеспечения войсковых частей и соединений, общих принципов использования сил медицинской службы в ООС (АТО), особенностей их использования в разные периоды операций.

Целью данной статьи является изучение условий деятельности медицинской службы, общих принципов и способов использования сил и средств медицинской службы ВС Украины во время проведения ООС. Авторы рассматривают порядок (варианты) использования приемов сокращения времени оказания первой врачебной, квалифицированной и специализированной медицинской помощи путем создания новых медицинских формирований (подразделений), которые ранее не предусматривались, а также интеграционными процессами в систему гражданской системы здравоохранения. Определяется, что указанными путями использования сил и средств медицинской службы как ВС Украины, так и МЗО Украины существенно сокращаются сроки оказания первой врачебной, квалифицированной и специализированной медицинской помощи военнослужащим ВС Украины.

**Ключевые слова:** медицинское обеспечение, лечебно-эвакуационные мероприятия, вид медицинской помощи, военный подвижный госпиталь, гражданское здравоохранение, квалифицированная медицинская помощь.

## EXPERIENCE OF ORGANIZATION OF MEDICAL SUPPORT OF TROOPS (FORCES) IN THE OPERATION OF THE JOINT FORCES

Mykhaylo Lozovuy<sup>1</sup>

Oleh Vorobiov (Doctor of Technical Sciences, Professor)<sup>1</sup>,

Ihor Vlasov (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)<sup>1</sup>

Mykola Chaplia (Candidate of Medical Sciences)<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Medical Rehabilitation Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine "Zhemchuzhina Prykarpattya", Truskavets, Ukraine

Studying the peculiarities of the work of the medical service of the Armed Forces of Ukraine on the planning, organization and implementation of medical care in peacetime and wartime in various conditions is a priority of its activities. According to the requirements of the guiding documents, medical support of troops (forces) must be organized in any conditions of activity of troops (forces): both in combat operations and in the conditions of daily activities of troops.) In modern hybrid warfare ) are influenced by factors of operational, combat, medical and logistical conditions. Therefore, in order to plan the medical support of troops (forces) in the Joint Forces Operation (ATO), it is necessary to study these factors, analyze their impact on the organization of medical support, draw conclusions and make decisions on the organization of medical support. The article considers the issues related to the factors influencing the organization of medical support of military units and formations, the general principles of the use of medical services in the JFO (ATO), the peculiarities of their use in different periods of the operation.

The purpose of this article is to study the conditions of the medical service during the ATO (JFO), the general principles and methods of using the forces and means of the medical service of the Armed Forces of Ukraine during the operation (JFO). The authors consider the procedure (options) for using time reduction techniques to provide first aid, qualified and specialized medical care by creating new medical units (units), which were not previously provided, as well as integration processes into the civil health system. forces and means of medical service of both the Ministry of Defense of Ukraine and the Ministry of Health of Ukraine significantly reduce the time of providing first medical, qualified and specialized medical care to servicemen of the Armed Forces of Ukraine.

**Key words:** medical support, medical and evacuation measures, type of medical care, military mobile hospital, civilian health care, qualified medical care.

### References

1. Lozovuy M.G. Determination of priority areas for reducing irreversible losses of personnel in modern armed conflicts / Lozovuy M.G., Vorobiov O.M., Vlasov I.O. // Collection of scientific works of the Ivan Chernyakhovsky National University of Defense of Ukraine "Proceedings of the University". - 2015. - №1 (128). - P. 179 - 182.  
2. Concept of the Program of development of the medical support system of the Armed Forces of Ukraine for the period up to 2020, approved by the Order of the Ministry of Internal Affairs on July 26, 2017 № 389.  
3. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 31. 10. 18 № 910 "On approval Military Medical Doctrine of Ukraine".  
4. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 24. 05. 17 №352-r "Some issues of medical care for servicemen, privates and officers and police officers involved in the anti-terrorist operation and the implementation of measures to ensure national security and defense, repulse and deterrence armed aggression of the Russian Federation in Donetsk and Luhansk regions".  
5. Sokhin O.O., Bulakh O.Y., Cherney

L.M. Strategy for saving the lives of the wounded in modern wars and in peacetime emergencies // Science and Defense, - 2006. - №1. - with. 44 - 48.  
6. V.L. Savitsky, O.M. Vlasenko, V.I. Stryzhenko, O.Y. Bulakh The system of medical support of troops (forces) is a component of the national policy of health protection of citizens of Ukraine Science and Defense 2014 №2. P.27-33.  
7. Methodical recommendations on the organization of work of civilian health care institutions on the provision of secondary (specialized) and tertiary (highly specialized) medical care to servicemen of the Armed Forces of Ukraine and other military formations, ed. Khomenko I.P. and Galushki A.M. Kyiv-2019, 137p.  
8. Report of the Department of Military Policy and Strategic Planning of the Ministry of Defense of Ukraine dated September 29, 2014 № 230/2/1535.  
9. Doctrine "Medical Forces of the Armed Forces of Ukraine".  
10. Order of the Ministry of Internal Affairs of 09. 07. 2018 № 258 On approval of the Manual on medical evacuation in the Armed Forces of Ukraine.

Ігор Вікторович Рубан (доктор технічних наук, професор)<sup>1</sup>

Вадим Володимирович Тютюник (доктор технічних наук, с.н.с.)<sup>2</sup>

Ольга Олександрівна Тютюник (кандидат технічних наук, доцент)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

<sup>2</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

<sup>3</sup>Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Харків, Україна

## ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ АНТИКРИЗОВИХ РІШЕНЬ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Запропоновано створення ефективної інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків надзвичайних ситуацій (НС) шляхом комплексного включення в дію Єдину державну систему цивільного захисту (ЄДСЦЗ) по вертикалі від об'єктового до державного рівнів різних функціональних елементів територіальної системи моніторингу НС та складових системи ситуаційних центрів. Показано, що однією з основних функцій системи ситуаційних центрів на всіх рівнях управління ЄДСЦЗ є розробка ефективних антикризових рішень, яка ускладнюється тим, що необхідними умовами ефективності рішень є їх своєчасність, повнота й оптимальність. Для підвищення ефективності прийняття рішень обґрунтовано необхідність розробки формальних, нормативних методів і моделей комплексного рішення проблеми прийняття рішень в умовах багатокритеріальності й невизначеності при управлінні процесами попередження й локалізації наслідків НС. З метою розвитку науково-технічних основ створення системи підтримки прийняття антикризових рішень в системі ситуаційних центрів ЄДСЦЗ в роботі представлена методика обґрунтування оптимальних антикризових рішень щодо забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності держави при НС різного характеру в умовах невизначеності вхідної інформації для експертів системи ситуаційних центрів.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, Єдина державна система цивільного захисту, система ситуаційних центрів, система підтримки прийняття антикризових рішень, багатокритеріальність, невизначеність вхідної інформації.

### Вступ

Реалізація національних інтересів будь-якої країни в певний момент може зіткнутися із непередбачуваною кризовою ситуацією. Характер виникнення такої ситуації та можливі негативні наслідки у даному випадку вимагають негайного її вирішення силами колегіального органу, покликаного здійснити аналіз ситуації, запропонувати можливі шляхи виходу з кризового стану та надати прогнозне бачення щодо подальших перспектив. У багатьох країнах перелічені завдання покладаються на антикризові структури, зокрема ситуаційні центри, ситуаційно-кризові центри, менше кризові центри. Значний спектр небезпек та ризиків, із якими стикаються практично всі сфери національної безпеки України (рис.1), та необхідність запобігання і нейтралізації негативним й деструктивним проявам, обумовлюють актуальність досліджень у зазначеному напрямку [1–3].

Цивільний захист, як одна із складових Системи національної безпеки України, спрямований на захист населення та території від негативного впливу різного роду надзвичайних ситуацій (НС), яким притаманні ймовірніший

територіально-часовий розподіл виникнення джерел небезпек. Для забезпечення реалізації державної політики у сфері цивільного захисту функціонує Єдина державна система цивільного захисту (ЄДСЦЗ), яка складається з функціональних і територіальних підсистем [4, 5] та спрямована на розв'язання питань забезпечення необхідного рівня безпеки життєдіяльності території держави лише в умовах, коли виникла НС.

Згідно стратегії реформування Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) [6], серед актуальних напрямків удосконалення функціонування ЄДСЦЗ необхідно визначити низку проблемних питань науково-інформаційно-технологічного характеру, які стосуються оптимального управління процесами попередження, локалізації та ліквідації наслідків НС. Одним з таких проблемних питань є удосконалення механізму взаємодії ДСНС з іншими структурами усіх рівнів забезпечення національної безпеки шляхом подальшого розвитку державного центру управління в надзвичайних ситуаціях ДСНС, утворення відповідних регіональних центрів та налагодження

їх взаємодії з Головним ситуаційним центром та іншими ситуаційними центрами складових сектору безпеки і оборони.

**Постановка проблеми.** В Україні цілком відкритими залишаються проблемні питання реалізації, базуючись на уявленнях системного

підходу та за даними рис. 2, в системі ЄДСЦЗ функції моніторингу та розробки ефективних управлінських рішень всіх локальних підсистем, спрямованих на запобігання та локалізацію НС, в умовах зародження джерел небезпек різної природи [7, 8].



Рис. 1. Багатофакторна модель Системи національної безпеки України

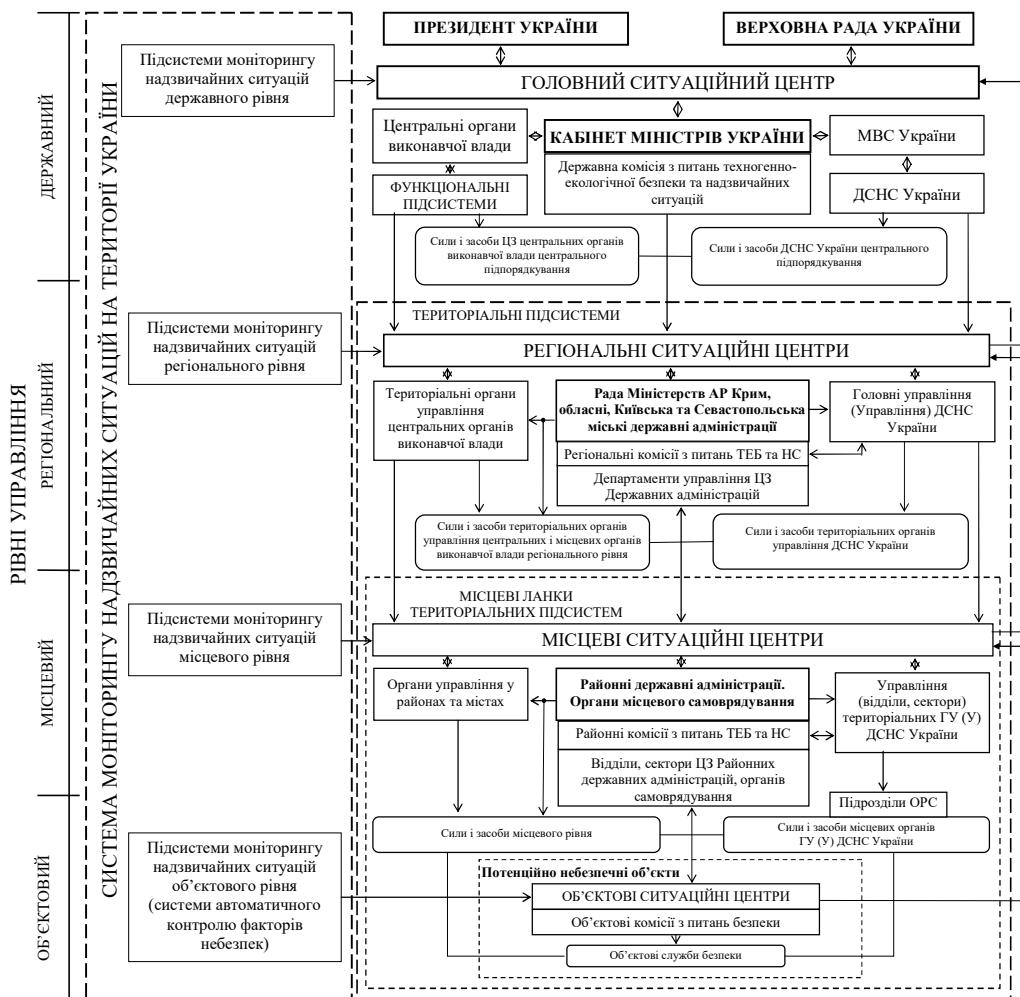


Рис. 2. Комплексна функціональна схема інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами запобігання, локалізації та ліквідації наслідків НС у Єдиній державній системі цивільного захисту

Це вказує на необхідність термінового розв'язання питань включення до складу ЄДСЦЗ інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами запобігання та локалізації НС.

Створення ефективної інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами запобігання та локалізації НС пропонується у відповідності за підходом, який розроблено у роботах [9, 10] та графічно представлено на рис. 2. У цьому підході реалізовано комплексне включення в діючу систему ЄДСЦЗ по вертикалі від об'єктового до державного рівнів різних функціональних елементів територіальної підсистеми моніторингу НС та складових підсистеми ситуаційних центрів, які жорстко пов'язані між собою на інформаційному та виконавчому рівнях для прийняття відповідних антикризових рішень для розв'язання різних функціональних задач моніторингу, запобігання та локалізації НС природного, техногенного, соціального та воєнного характеру.

Одним з актуальних напрямків розробки у ЄДСЦЗ інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами запобігання, локалізації та ліквідації наслідків НС є створення та забезпечення функціонування підсистем автоматизованого виявлення на локальній території джерел небезпек та телекомунікаційних мереж, а також центрів обробки даних, з функціями інформаційної підтримки прийняття антикризових рішень в умовах невизначеності вхідної інформації при НС різного характеру.

Таким чином, обов'язковим етапом функціонування системи ситуаційних центрів є прийняття рішень. При цьому не тільки невірні, але й неефективні рішення призводять до соціальних, матеріальних та екологічних збитків, або призводять до нераціонального використання фінансових, часових, трудових, енергетичних та інших ресурсів при управлінні процесами запобігання та ліквідації НС різного характеру. У зв'язку з цим проблема розробки науково-обґрунтованої методології прийняття ефективних антикризових рішень є однією з актуальних наукових проблем в галузі інформаційних технологій у сфері безпеки та оборони.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За визначенням В.М. Глушкова необхідними умовами ефективності рішень є їх своєчасність, повнота і оптимальність [11]. Перераховані вимоги суперечливі і їх забезпечення пов'язане з серйозними труднощами.

Забезпечення повноти (комплексності) рішень вимагає якомога повнішого врахування внутрішніх і зовнішніх факторів, що впливають на прийняття рішення, глибокого аналізу їх взаємозв'язків, що веде до зростання розмірності задачі прийняття рішень, її багатокритеріальності. У свою чергу це призводить до зростання невизначеності вихідних даних, що обумовлено неповнотою знань про взаємозв'язок факторів і, як наслідок, неточного її опису, неможливістю або неточністю вимірювання деяких факторів,

випадкових зовнішніх і внутрішніх впливів тощо. Додаткова складність полягає в тому, що невизначеності різнорідні і можуть бути представлені у вигляді випадкових величин, нечітких множин або просто інтервальних величин.

Таким чином, підвищення ефективності прийнятих рішень пов'язано з необхідністю вирішення задач багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності.

Традиційний, широко розповсюджений підхід до вирішення таких завдань, заснований на їх евристичному спрощенню (детермінізації) як засобу зменшення невизначеності, в міру ускладнення завдань і підвищення значущості рішень стає все менш ефективним.

У цих умовах вкрай актуальна розробка формальних (нормативних) методів і моделей комплексного вирішення проблеми прийняття рішень в умовах багатокритеріальності і невизначеності.

У цьому напрямі ведуться інтенсивні дослідження зарубіжними і вітчизняними вченими, такими як Фішберн П. [12], Сааті Т. [13], Райфа Р. [14], Кіні Р. [14], Заде Л. [15], Подіновський В.В. [16], Зайченко Ю.П. [17], Волошин А.Ф. [18], Ларічев А.І. [19], Борисов А.Н. [20], Вошинін А.П. [21], Кофман А. [22], Орловський С.А. [23], Поспелов Д.А. [24], Ротштейн О.П. [25], Петров Е.Г. [26-27] та багато інших. Були отримані фундаментальні результати, однак вичерпне рішення проблеми далеко від завершення і продовження досліджень в цьому напрямку, безсумнівно, актуально як в теоретичному, так і в прикладному аспектах для розробки методики обґрунтування, в умовах невизначеності вхідної інформації для експертів системи ситуаційних центрів, оптимальних антикризових рішень щодо забезпечення необхідного рівня життєдіяльності держави при НС природного, техногенного, соціального і військового характеру.

**Метою статті** є розвиток науково-технічних основ створення системи підтримки прийняття антикризових рішень експертами системи ситуаційних центрів Єдиної державної системи цивільного захисту в умовах невизначеності вхідної інформації при НС природного, техногенного, соціального і військового характеру.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Мета роботи досягається шляхом розробки методики обґрунтування оптимальних антикризових рішень щодо забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності держави при НС різного характеру, в умовах невизначеності вхідної інформації для експертів системи ситуаційних центрів.

Ситуаційний центр при функціонуванні в ЄДСЦЗ повинен, у відповідності до даних рис. 3, забезпечити: 1) аналіз отриманої від підсистеми моніторингу інформації; 2) моделювання розвитку НС на території міста, регіону, держави;

3) розробку та ухвалення управлінських рішень щодо попередження та ліквідації НС, а також мінімізації їх наслідків.

Функціонування, представленої на рис. 3, схеми в умовах повноти вхідної інформації та наявності одного часткового критерію оцінювання множини допустимих рішень не представляє труднощів при обґрунтування оптимальних антикризових рішень. З іншого боку, сучасні проблемні ситуації характеризуються неповнотою

знань (невизначеністю) вихідних даних та множиною часткових критеріїв оцінювання. Таким чином, традиційний підхід, заснований на декомпозиції проблеми на дві умовно незалежні задачі – багатокритеріальної оптимізації в детермінованій, тобто без урахування невизначеності, постановці і прийнятті рішення в умовах невизначеності для скалярної цільової функції в сучасних умовах, не задовольняє вимогам практики за точністю й ефективністю.

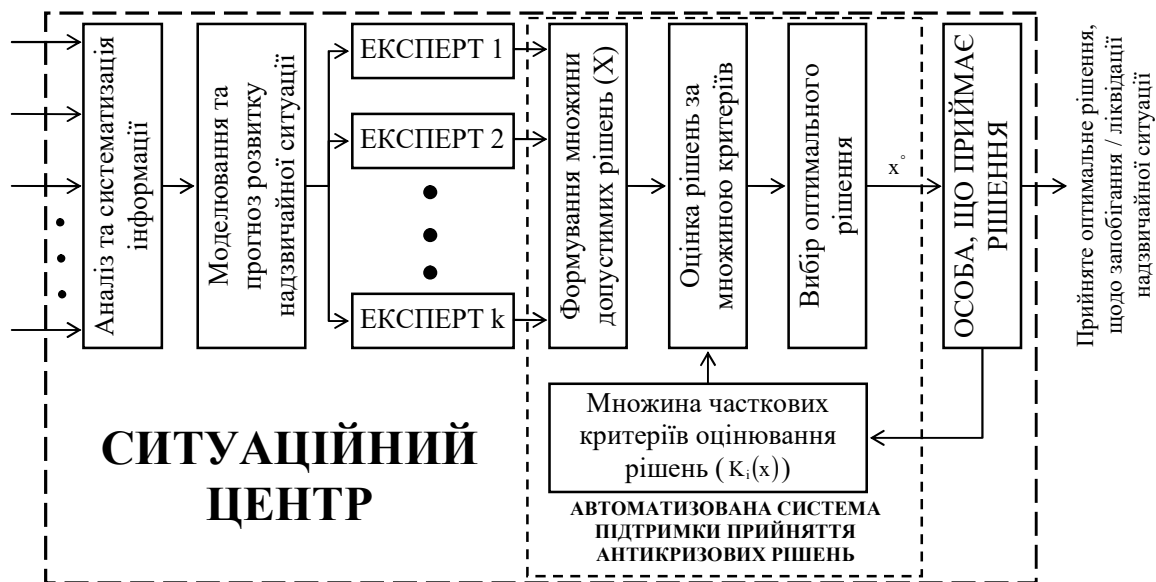


Рис. 3. Функціональна схема обґрунтування оптимальних антикризових рішень щодо забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності держави при надзвичайних ситуацій різного характеру, в умовах невизначеності вхідної інформації для експертів системи ситуаційних центрів Єдиної державної системи цивільного захисту

Це обумовлено тим, що задача багатокритеріальної оптимізації в принципі є некоректною, тому що дозволяє визначити рішення тільки з точністю до області компромісних рішень, а її регуляризація для визначення єдиного рішення, заснована на розрахунку узагальненої багатофакторної скалярної оцінки, базується на погано структурованих, суб'єктивних експертних оцінках, детермінізація яких призводить до великих похибок. З іншого боку, методи прийняття рішень в умовах невизначеності за скалярною оцінкою і очікуваного ефекту, без урахування його багатокритеріальності, так само не адекватні. Тому викає необхідність розвитку методології комплексного вирішення задачі прийняття рішень з урахуванням багатокритеріальності і неповної невизначеності вихідних даних.

Допустима множина рішень експертів ситуаційного центру Єдиної державної системи цивільного захисту у загальному випадку, згідно [28], включає підмножину узгоджених  $X^S$  та неузгоджених (компромісних)  $X^C$  рішень щодо забезпечення відповідного рівня безпеки на відповідному рівні життєдіяльності (об'єктовому, місцевому, регіональному та державному) при НС.

Особливістю останньої підмножини є неможливість покращити ні одного часткового критерію  $k_i(x)$ ,  $i = \overline{1, n}$  без погіршення якості хоч би одного іншого часткового критерію. Крім того, ефективне рішення  $x^o$  обов'язково належить області компромісів. Це означає, що задача багатокритеріальної оптимізації не має рішення, тобто є некоректною задачею згідно Адамара [29], оскільки у загальному випадку не забезпечує визначення єдиного оптимального рішення із множини компромісів  $X^C$

$$x^o = \arg \text{extr}_{x \in X} \langle k_i(x) \rangle, \forall i = \overline{1, n} \quad (1)$$

У зв'язку з цим, викає задача багатокритеріальної оптимізації. Основна ідея методів розв'язання багатокритеріальної задачі прийняття рішення базується на розробці деякої регуляризувальної процедури, яка дозволяє вибрати єдине рішення із області компромісів  $X^C$ . Для цього можливі два підходи, а саме:

- 1) евристичний, коли вибір рішення здійснює особа, що приймає рішення, на основі свого опыту;
- 2) формальний, оснований на деяких формальних правилах (схемах компромісу).

Основними методами регуляризації задачі

багатокритеріальної оптимізації є принцип головного критерію, функціонально-вартісний аналіз та принцип послідовної оптимізації. Кожен з перерахованих підходів має свою область коректного використання, але найбільш загальним і універсальним є підхід, який базується на формуванні множини часткових критеріїв  $K_i(x) = K_\phi(x) \cup K_\gamma(x) = \{k_i(x)\}$ ,  $i = \overline{1, n}$

узагальненої скалярної оцінки (критерію), яку називають функцією корисності та можливо представити у вигляді

$$\overline{K}(x) \equiv P(x) = F[\lambda_i, K_i(x)], i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де  $\lambda_i$  – коефіцієнти ізоморфізму, які приводять різні часткові критерії  $K_i(x)$  до ізоморфного вигляду;

$K_\phi(x)$  – функціональний критерій;

$K_\gamma(x)$  – затратний критерій.

Теоретичною основою формування багатокритеріальних скалярних оцінок є теорія корисності [30], яка базується на існуванні кількісної оцінки щодо переваги рішень. Це означає, що

$$x_1, x_2 \in X, x_1 \succ x_2, \text{ то } P(x_1) > P(x_2), \quad (3)$$

де  $P(x_1), P(x_2)$  – функції корисності.

У загальному випадку справедливо і зворотне твердження. Так, корисність є кількісною мірою “якості” прийнятого рішення, а саме

$$x^\circ = \underset{x \in X}{\operatorname{argmax}} P(x). \quad (4)$$

У зв'язку з цим виникає задача обґрунтування правила (метрики), який дозволить сформулювати функцію корисності у просторі часткових критеріїв  $k_i(x)$ .

Принциповим є те, що об'єктивної метрики не існує, а принцип ранжирування рішень щодо запобігання та ліквідації НС відображає суб'єктивні переваги конкретної особи ситуаційного центру, що приймає рішення.

Розглянемо системологічні основи вибору метрики функції корисності щодо запобігання та ліквідації НС. Синтез будь-якої математичної моделі, у тому числі і синтез функції корисності, передбачає необхідність вирішення двох взаємопов'язаних задач: структурної та параметричної ідентифікації. Перша задача передбачає: визначення значущих факторів, що впливають на вихідні дані моделі; визначення структури, тобто виду оператора, який встановлює зв'язок між вхідними та вихідними даними моделі. Розв'язання задачі параметричної ідентифікації полягає у визначенні конкретних кількісних значень параметрів моделі.

Задача структурної ідентифікації моделі пов'язана з евристичним висуненням і перевіркою деякої гіпотези. У випадку функціонування ситуаційного центру вигляд функції корисності рішення  $x$  визначається частковими характеристиками (критеріями)  $k_i(x)$ . Наступним

етапом розв'язання задачі є ідентифікація виду оператора  $F$ . Найбільш широко відомі дві форми функції корисності, а саме: адитивна та мультиплікативна.

Адитивна функція корисності. Великий внесок в обґрунтування цієї гіпотези зроблено Фишберном [12]. Їм були визначені необхідні та достатні умови адекватності адитивної функції корисності для багатьох випадків. Так, у випадку  $n$  факторів, умови адитивності функції корисності за Фишберном можна сформулювати наступним чином: фактори  $x_1, x_2, \dots, x_n$  є адитивно незалежними, якщо перевага лотерей на  $x_1, x_2, \dots, x_n$  залежить тільки від маргінальних розподілів ймовірностей. Використовуючи це визначення можна сформулювати основний результат теорії адитивної корисності як:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i k_i(x). \quad (5)$$

Мультиплікативна форма функції корисності має наступний вигляд:

$$P(x) = \prod_{i=1}^n \lambda_i k_i(x). \quad (6)$$

Аналіз показав що, мультиплікативна форма не дозволяє врахувати інформацію про вагові коефіцієнти. Недоліком адитивної форми є те, що вона не дозволяє враховувати нелінійність і взаємозв'язок окремих критеріїв. Тому в загальному випадку необхідна більш універсальна структура функції корисності, яка дозволила б враховувати як адитивну форму так і нелінійні ефекти.

В якості такої універсальної форми може бути використано поліном Колмогорова-Габора [31], який в загальному випадку має вигляд:

$$P(Y) = \lambda_0 + \sum_{i=1}^n \lambda_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{i < j} \lambda_{ij} x_i x_j + \dots + \sum_{i=1}^n \sum_{j < i} \sum_{k < j} \lambda_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \quad (7)$$

Для оцінки корисності цей поліном необхідно модифікувати, шляхом визначення  $\lambda_0 = 0$ . В результаті поліном прийме вигляд:

$$P(Y) = \sum_{i=1}^n \lambda_i k_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} k_i k_j + \dots \quad (8)$$

При цьому, у більшості практичних ситуацій (у тому числі при функціонуванні ситуаційних центрів в питаннях прийняття антикризових рішень щодо запобігання та ліквідації НС) достатньо враховувати члени не вище другого порядку.

Поліном Колмогорова-Габора містить фрагменти адитивної і мультиплікативної функції, а також є лінійним за параметрами. З огляду на це шляхом розширення простору змінних за рахунок введення додаткових змінних типу  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_i k_j = z_l$

тощо, отримаємо адитивну функцію наступного вигляду:

$$P(x) = \sum_{l=1}^L \lambda_l z_l, \quad (9)$$

Виходячи з вищевикладеного розглянемо адитивну форму більш докладно, для наочності скориставшись моделлю (5). Всі часткові критерії, за визначенням, мають різну розмірність, інтервали і шкали вимірювання [32], тобто їх неможливо порівняти між собою.

Отже, вираз (4) справедливий тільки в тому випадку, якщо  $\lambda_i$  враховують важливість часткових критеріїв, а також є коефіцієнтами ізоморфізму, тобто приводять різнорідні  $k_i(x)$  до єдиної розмірності та інтервалу вимірювання. Однак, у загальному випадку, важко визначити значення цих коефіцієнтів ізоморфізму. Цю обставину можна подолати, якщо представити адитивну функцію корисності в наступній формі:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n a_i k_i^H(x), \quad (10)$$

де  $a_i$  – відносні безрозмірні вагові коефіцієнти, для яких виконуються обмеження

$$0 \leq a_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1, \quad (11)$$

а  $k_i^H(x)$  – нормалізовані, тобто приведені до ізоморфного вигляду часткові критерії [33]. Нормалізація критеріїв проводиться за виразом

$$k_i^H(x) = \left( \frac{k_i(x) - k_i^{HG}}{k_i^{HK} - k_i^{HG}} \right)^{\alpha_{iw}}, \quad (12)$$

де  $k_i(x)$  – значення часткового критерію,  $k_i^{HK}$ ,  $k_i^{HG}$  – відповідно найкраще і найгірше значення часткового критерію, яке він приймає на області допустимих рішень  $x \in X$ .

Залежно від виду екстремуму (напрямки домінування)

$$k_i^{HK} = \begin{cases} \max_{x \in X} k_i(x), & \text{if } k_i(x) \rightarrow \max \\ \min_{x \in X} k_i(x), & \text{if } k_i(x) \rightarrow \min \end{cases}, \quad (13)$$

$$k_i^{HG} = \begin{cases} \min_{x \in X} k_i(x), & \text{if } k_i(x) \rightarrow \max \\ \max_{x \in X} k_i(x), & \text{if } k_i(x) \rightarrow \min \end{cases}. \quad (14)$$

Модель (10) конструктивна лише у тому випадку, коли вагові коефіцієнти  $a_i$  часткових критеріїв задано у вигляді точкових кількісних значень [34]. Як визначалося вище, носіями цієї інформації є особи, що приймають рішення, а значить, виникає необхідність розробки процедури її отримання, тобто розв'язання задачі параметричної ідентифікації моделі. З різних причин отримання точної кількісної інформації про значення  $a_i$  не завжди можливо, тому, в

загальному випадку, оцінювання корисності рішень доводиться проводити в умовах існування більшою чи меншою міри невизначеності про взаємну важливість часткових критеріїв. В загальному випадку, загальна модель визначення корисності рішення  $x \in X$  має вигляд

$$P(x) = G[J(a_i), k_i(x)], \quad i = \overline{1, n}, \quad (15)$$

де  $J(a_i)$  – інформація про значеннях коефіцієнтів відносної важливості.

Крайніми ситуаціями є випадки, коли:

- 1) вагові коефіцієнти  $a_i$  задано у вигляді точних точкових кількісних значень;
- 2) інформація про перевагу часткових критеріїв повністю відсутня.

Як правило, між цими крайнощами є безліч ситуацій з різним ступенем невизначеності завдання вагових коефіцієнтів. Виходячи з представленого підходу, в роботі вирішена задача синтезу моделі обчислення інтервального фазифікованого значення скалярної багатofакторної оцінки ефективності (корисності) припустимих рішень.

Передбачається, що модель обчислення функції корисності в загальному випадку являє собою деякий фрагмент поліному Колмогорова-Габора, лінійний за параметрами, але нелінійний за змінними (частковим критеріям). Це означає, що в розширеному просторі змінних модель функції корисності  $P(x)$  можна розглядати як адитивну функцію виду

$$\overline{P}(x) = \sum_{i=1}^n \overline{a_i} \overline{k_i^H}(x), \quad (16)$$

де  $\overline{a_i}$  – безрозмірні вагові коефіцієнти, що задовольняють вимогам  $0 \leq \overline{a_i} \leq 1, \sum_{i=1}^n \overline{a_i} = 1; \overline{k_i^H}(x)$

нормалізовані, тобто приведені до безрозмірного виду, однакової метрики і напряму домінування, часткові критерії; знак « $\leftarrow$ » означає інтервальну невизначеність.

Аналіз особливостей задачі багатокритеріального скалярного оцінювання, проведений у [34, 35], показав, що поширеною формою подання невизначеностей у моделі (16) є нечіткі множини. При прийнятих допущеннях параметрична ідентифікація моделі задачі багатокритеріальної оптимізації (16) полягає у визначенні інтервальних значень параметрів  $\overline{a_i}$  і часткових критеріїв  $\overline{k_i^H}(x)$ , їх фазифікації й обчисленні інтервального фазифікованого значення функції корисності рішення  $P(x)$ .

Оскільки задача багатofакторного оцінювання при функціонуванні ситуаційного центру в умовах НС є інтелектуальною процедурою і носіями вихідної інформації є експерти, задача параметричної ідентифікації параметрів моделі (16) вирішується безпосередньо методами



експертного оцінювання або методом компараторної ідентифікації.

Метод компараторної ідентифікації адитивної моделі скалярного оцінювання корисності альтернатив полягає в такому. Вихідною інформацією виступає відношення строгого або нестроного порядку, встановлене експертами на множині припустимих альтернатив

$$x_1 \succ x_2 \sim x_3 \sim x_4 \succ \dots, \quad (17)$$

де  $\succ$ ,  $\sim$  – відповідно знаки переваги та еквівалентності. Відповідно до теорії корисності для (17) виконуються такі співвідношення

$$P(x_1) > P(x_2) = P(x_3) > P(x_4) > \dots \quad (18)$$

На основі (18) можна скласти систему рівнянь виду

$$\begin{aligned} P(x_2) - P(x_1) &\leq 0, \\ P(x_3) - P(x_2) &= 0, \\ P(x_4) - P(x_3) &\leq 0. \end{aligned} \quad (19)$$

Підстановкою в (19) функції корисності (16) отримуємо систему лінійних щодо параметрів  $a_i$  нерівностей, що визначають область їх можливих значень. Методом лінійного програмування на виділеній області визначаються інтервальні значення  $[a_i^{max}, a_i^{min}]$  параметрів. При цьому, незалежно від методу, визначаються інтервальні оцінки параметрів  $a_i = [a_i^{max}, a_i^{min}]; \forall i = \overline{1, n}$ , а величина інтервалів залежить від розкиду суб'єктивних індивідуальних оцінок експертів.

Інтервальна невизначеність змінних моделі (часткових критеріїв) визначається Не-факторами. Їх аналіз та урахування дозволяє визначити інтервал можливих значень кожного з них.

Наступний етап ідентифікації моделі (16) полягає в її фазифікації, тобто у виборі виду і параметрів функції належності інтервальних параметрів і змінних.

Вагові коефіцієнти  $a_i$  являють собою інтервальні нечіткі числа, а значення часткових критеріїв можуть бути задані як чисельно, у вигляді нечітких чисел, так і якісно, у вигляді лінгвістичних термів.

Таким чином, наведені результати свідчать, що створення в Україні ситуаційних центрів, як елементів ЄДСЦЗ, відбувається в умовах імовірнісного територіально-часового розподілу джерел виникнення небезпек. Це обумовлюється невизначеністю параметрів, які впливають на умови нормального функціонування території України. У зв'язку з цим виникає проблема прийняття оптимальних антикризових рішень в умовах невизначеності щодо забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності держави.

Показано, що процедура прийняття експертами ситуаційного центру управлінських антикризових рішень ускладнюється тим, що необхідними умовами ефективності рішень є їх своєчасність,

повнота й оптимальність. Тому, підвищення ефективності прийнятих рішень пов'язане з необхідністю рішення задачі багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності. Це потребує розробки формальних, нормативних методів і моделей (наукові основи яких представлені у роботі) для комплексного рішення проблеми прийняття рішень в умовах багатокритеріальності й невизначеності при управлінні процесами запобігання та локалізації НС для забезпечення ефективного функціонування ЄДСЦЗ за трьома групами критеріїв, а саме: показники забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності; показники функціональної спроможності ЄДСЦЗ; показники фінансових затрат на функціонування цієї системи безпеки.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Викладені основні принципи створення підсистеми підтримки прийняття антикризових рішень в умовах невизначеності вхідної інформації системи ситуаційних центрів ЄДСЦЗ:

1. Запропоновано створення ефективної інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами запобігання та ліквідації НС шляхом комплексного включення в дію систему ЄДСЦЗ по вертикалі, від об'єктового до державного рівнів різних функціональних елементів територіальної системи моніторингу НС та складових системи ситуаційних центрів, які жорстко пов'язані між собою на інформаційному та виконавчому рівнях для прийняття відповідних антикризових рішень, для розв'язання різних функціональних задач моніторингу, запобігання та ліквідації НС природного, техногенного, соціального та воєнного характеру.

2. Показано, що основу ситуаційного центру становить підсистема підтримки прийняття антикризових рішень, яка забезпечує експертну оцінку обстановки на об'єкті управління та розвитку загроз на території міста, регіону, держави, а також розробку та ухвалення управлінських рішень щодо запобігання та ліквідації НС, а також мінімізації їх наслідків. Обов'язковою умовою функціонування підсистеми підтримки прийняття антикризових рішень є те, що не тільки невірні, але й неефективні рішення призводять до соціальних, матеріальних та екологічних збитків, або призводять до нераціонального використання фінансових, часових, трудових, енергетичних та інших ресурсів при управлінні процесами запобігання та ліквідації НС різного характеру.

3. Встановлено, що створення в Україні ситуаційних центрів, як елементів ЄДСЦЗ, відбувається в умовах імовірнісного територіально-часового розподілу джерел виникнення небезпек. Це обумовлюється невизначеністю параметрів, які впливають на умови нормального функціонування території України. У зв'язку з цим виникає проблема

прийняття оптимальних антикризових рішень в умовах невизначеності щодо забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності держави.

4. Показано, що процедура прийняття експертами ситуаційного центру управлінських антикризових рішень ускладнюється тим, що необхідними умовами ефективності рішень є їх своєчасність, повнота й оптимальність. Тому, підвищення ефективності прийнятих рішень пов'язане з необхідністю рішення задачі багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності. Це потребує розробки

формальних, нормативних методів і моделей (наукові основи яких представлені у роботі) для комплексного рішення проблеми прийняття рішень в умовах багатокритеріальності й невизначеності при управлінні процесами запобігання та локалізації НС для забезпечення ефективного функціонування ЄДСЦЗ за трьома групами критеріїв, а саме: показники забезпечення відповідного рівня безпеки життєдіяльності; показники функціональної спроможності ЄДСЦЗ; показники фінансових затрат на функціонування цієї системи безпеки.

### Література

1. Про національну безпеку України: Закон України від 21 червня 2018 року № 2469-VIII [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19> 2. **Чеховська М.М.** Міжнародний досвід створення ситуаційних центрів у процесі безпекового супроводу реалізації національних інтересів. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://pap.in.ua/4\\_2014/62.pdf](http://pap.in.ua/4_2014/62.pdf) 3. **Вишневський В.В., Симонов С. В.** Организационные процедуры ситуационного центра *Математичні машини і системи*. 2010. № 4. С. 62-67. 4. **Черногор Л.Ф.** Физика и экология катастроф. Харьков: Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 2012. 556 с. 5. **Тютюник В.В., Черногор Л.Ф., Калугін В.Д.** Системний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2011. Вип. 14. С. 171 – 194. 6. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 січня 2017 року № 61-р. «Про схвалення Стратегії реформування системи Державної служби України з надзвичайних ситуацій» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80> 7. **Калугін В.Д., Тютюник В.В., Черногор Л.Ф., Шевченко Р.І.** Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. 1/6 (55). С. 59–70. 8. **Тютюник В.В., Соболь О.М., Калугін В.Д., Тютюник Ю.В.** Основи методології територіально-часового формування джерел надзвичайних ситуацій та екологічної безпеки на локальній території. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. Київ: Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України. 2015. Вип. 9. С. 92 – 108 9. **Тютюник В.В.** Створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в регіонах України. Автореф. ... доктора технічних наук за спец. 21.02.03 – Цивільний захист. Київ: НАН України. ДП «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», 2015. 42 с. 10. **Тютюник В.В., Стрілець В.М., Калугін В.Д., Захарченко Ю.В.** Розвиток методологічного підходу для техногенно-екологічної оцінки рівня небезпеки функціонування структурних підрозділів потенційно небезпечних об'єктів та локальних територій України. *Науково-технічний журнал «ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА»*. № 3(1/2018). С.91 – 101. 11. **Глушков В.М.** Введение в теорию самосовершенствующих систем. Киев: Изд-во КВИРТУ. 109 с. 12. **Фишберн П.** Теория полезности для принятия решений. М.: Наука, 1978. 352с. 13. **Саати Т.** Математические модели конфликтных ситуаций. М.: Сов. Радио, 1977. 304 с. 14. **Кини Р.Л., Райфа Х.** Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: «Радио и связь», 1981. 560 с. 15. **Заде Л.** Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений

М.: «Мир», 1976. 16. **Подиновский В.В., Ногин В.Д.** Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982. 254 с. 17. **Зайченко Ю.П.** Дослідження операцій. 7-ме вид. К.: Видавничий Дім «Слово», 2006. 816 с. 18. **Волошин О.Ф., Машенко С.О.** Теорія прийняття рішень: Навчальний посібник. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2006. 304 с. 19. **Ларичев О.И., Мошкович Е.М.** Количественные методы принятия решений. М.: Наука, Физматлит, 1996. 208 с. 20. **Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П.** Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования. Рига: Зинатне, 1990. 184 с. 21. **Воцинин А.П., Сотиров Г.Р.** Оптимизация в условиях неопределенности. Изд-во МЭИ и Техника, 1989. 224с. 22. **Кофман А.** Введение в теорию нечетких множеств. М., Радио и связь, 1982. 23. **Орловский С.А.** Проблемы принятия решений при нечеткой информации. М.:Наука, 1981. 206 с. 24. **Поспелов Д.А.** Логико-лингвистические модели в системах управления. М.: Энергоиздат, 1981. 232 с. 25. **Ротштейн А. П.** Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: УНИВЕРСУМ – Винница, 1999. 320 с. 26. **Петров Э.Г., Пискалова О.А.** Анализ подходов к решению задачи поиска оптимального решения в условиях неопределенности. *Вестник ХНТУ*. 2007. №4(27). С. 14-19. 27. **Петров Э.Г., Пискалова О.А.** Постановка задачи взаимной трансформации различных видов неопределенности. *Комп'ютерне моделювання та інтелектуальні системи: Збірник наукових праць*. 2007. С.190 – 193. 28. **Петров Е.Г., Новожилова М.В., Гребенник І.В.** Методи і засоби прийняття рішень в соціально – економічних системах. К.: Техніка, 2004. 256 с. 29. **Прохоров Ю.В.** Математический энциклопедический словарь. М.: Сов. энциклопедия, 1988. 250 с. 30. **Нейман Дж., Моргенштерн О.** Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 124 с. 31. **Ивахненко А.Г., Мюллер Й.А.** Самоорганизация прогнозирующих моделей. К.:Техніка, 1985. 223 с. 32. **Клигер С.А., Косолапов М.С., Толстова Ю.Н.** Шкалирование при сборе и анализе социологической информации. М.: Наука, 1978. 168 с. 33. **Катулев А.Н., Виленчук Л.С., Михно В.Н.** Современный синтез критериев в задачах принятия решений. М.: Радио и связь, 1992. 119 с. 34. **Петров Э.Г., Шило Н.С.** Методика оценки адекватности моделей точечной идентификации индивидуальных предпочтений ЛПР. *Радиоэлектроника и информатика*. 2003. №2. С. 97–103. 35. **Ruban Igor, Tutiunyk Vadym, Tutiunyk Olha.** Features of decision support by experts of the situational center under conditions of uncertainty of input information in emergency situations. *Інформаційні технології і безпека. Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції ІТБ-2020*. С. 120-124

**ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ АНТИКРИЗИСНЫХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

*Игорь Викторович Рубан (доктор технических наук, профессор)<sup>1</sup>  
Вадим Владимирович Тютюник (доктор технических наук, с.н.с.)<sup>2</sup>  
Ольга Александровна Тютюник (кандидат технических наук, доцент)<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина*

<sup>2</sup>*Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина*

<sup>3</sup>*Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця, Харьков, Украина*

*Предложено создание эффективной информационно-аналитической подсистемы управления процессами предупреждения и локализации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) путем комплексного включения в действующую Единую государственную систему гражданской защиты (ЕГСГЗ) по вертикали от объектового до государственного уровней различных функциональных элементов территориальной системы мониторинга ЧС и составляющих системы ситуационных центров. Показано, что одной из основных функций системы ситуационных центров на всех уровнях управления ЕГСГЗ является разработка эффективных антикризисных решений, которая осложняется тем, что необходимыми условиями эффективности решений является их своевременность, полнота и оптимальность. Для повышения эффективности принятия решений обоснована необходимость разработки формальных, нормативных методов и моделей комплексного решения проблемы принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности при управлении процессами предупреждения и локализации последствий ЧС. С целью развития научно-технических основ создания системы поддержки принятия антикризисных решений в системе ситуационных центров ЕДСЦЗ в работе представлена методика обоснования оптимальных антикризисных решений по обеспечению соответствующего уровня безопасности жизнедеятельности государства при ЧС различного характера в условиях неопределенности входной информации для экспертов системы ситуационных центров.*

***Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, Единая государственная система гражданской защиты, система ситуационных центров, система поддержки принятия антикризисных решений, многокритериальность, неопределенность исходной информации.*

**FEATURES OF CREATING ANTI-CRISIS DECISION SUPPORT SYSTEM UNDER UNCERTAINTY OF INPUT INFORMATION IN EMERGENCY SITUATIONS**

*Igor Ruban (Doctor of Technical Sciences, Professor)<sup>1</sup>  
Vadym Tiutiunyk (Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher)<sup>2</sup>  
Olha Tiutiunyk (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkov, Ukraine*

<sup>2</sup>*National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkov, Ukraine*

<sup>3</sup>*Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkov, Ukraine*

*Creation of an efficient informational and analytical subsystem of prevention management processes and localization consequences of the emergency situations (ES) has been offered. It was made by complex inclusion in the operating Unified State Civil Protection System (USCPS) (from object to government) levels of various functional territorial system elements of monitoring emergency and system components of the situational centers. It was shown that one of trial functions of system situational centers at all USCPS management levels is development of efficient response crisis solutions, which is complicated by the fact that necessary conditions of effectiveness decisions is their timeliness, completeness and optimality. For increase in effectiveness of a decision making need of formal development, normative methods and models of a complex solution of the making decision problem in the conditions of the multicriterial and indeterminacy at prevention management processes and consequences emergency localization has been proved. In order to develop the scientific and technical foundations for creating a support system for making anti-crisis decisions in the system of situational centers of the USCPS, the paper presents a methodology for substantiating optimal anti-crisis solutions to ensure an appropriate level of safety of the state in ES of various nature in conditions uncertainty of input information for experts of the system of situational centers.*

***Keywords:** emergency situation, The Unified State Civil Protection System, the system of the situational centers, support system for making anti-crisis decisions, multi-criteria, uncertainty of initial information.*

## References

1. On National Security of Ukraine: Law of Ukraine of 21 June 2018 № 2469-VIII Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19>
2. **Chekhovska M.M.** Mizhnarodnyi dosvid stvorennia situatsiinykh tsentriv u protsesi bezpekovoho suprovodu realizatsii natsionalnykh interesiv [International experience in creating situational centers in the process of security support of national interests]. Available at: [http://pap.in.ua/4\\_2014/62.pdf](http://pap.in.ua/4_2014/62.pdf)
3. **Vishnevskij V.V.** Organizacionnye procedury situacionnogo centra. / V.V. Vishnevskij, S.V. Simonov // Matematychni mashyny i systemy. 2010. № 4. S. 62-67. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MMS\\_2010\\_4\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MMS_2010_4_9)
4. **Chernogor L.F.** (2012). Fizika i jekologija katastrof [Physics and ecology of catastrophes]. Har'kov: Har'kovskij nacional'nyj universitet imeni V.N. Karazina, 2012. 556.
5. **Tiutiunyk V.V.** Systemnyi pidkhdid do otsinky nebezpeky zhyttiediialnosti pry terytorialno chasovomu rozpodili enerhii dzherel nadzvychaynykh situatsii. / V.V. Tiutiunyk, L.F. Chernogor, V.D. Kalygin // Problemy nadzvychaynykh situatsii. 2011. Vip.14. S.171-194.
6. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of January 25, 2017 № 61-r. "On approval of the Strategy for reforming the system of the Civil Service of Ukraine for Emergencies". Available at: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/61-2017-%D1%80>.
7. **Kalygin V.D.** Systemnyi pidkhdid do otsinky ryzykiv nadzvychaynykh situatsii v Ukraini. / V.D. Kalygin, V.V. Tiutiunyk, L.F. Chernogor, R.I. Shevchenko // Vostochno-Evropejskij zhurnalпередovykh tehnologij. 2012. 1/6 (55). S. 59–70.
8. **Tiutiunyk V.V.** Osnovy metodolohii terytorialno-chasovoho formuvannia dzherel nadzvychaynykh situatsii ta ekolohichnoi nebezpeky na lokalnii terytorii. / V.V. Tiutiunyk, O.M. Sobol, V.D. Kalygin, Ju.V. Tiutiunyk // Tekhnohenko-ekolohichna bezpeka ta tsyvilnyi zakhyst. Kyiv: Instytut heokhimii navkolyshnoho seredovyscha NAN Ukrainy. 2015. Vyp.9. S.92-108.
9. **Tiutiunyk V.V.** (2015). Stvorennia kompleksnoi systemy monitoryngu nadzvychaynykh situatsii v rehionakh Ukrainy. Avtoref. ... doktora tekhnichnykh nauk za spets. 21.02.03 – Tsyvilnyi zakhyst [Creation of a complex system of emergency monitoring in the regions of Ukraine. Author's ref. ... Doctor of technical sciences for spets. 21.02.03 – Civil Protection]. Kyiv: NAN Ukrainy. DP «Instytut heokhimii navkolyshnoho seredovyscha NAN Ukrainy», 2015. 42.
10. **Tiutiunyk V.V.** Rozvytok metodolohichnoho pidkhodu dlja tekhnohennoekolohichnoi otsinky rivnia nebezpeky funkcionuvannia strukturnykh pidrozdiliv potentsiino nebezpechnykh ob'ektiv ta lokalnykh terytorii Ukrainy. / V.V. Tiutiunyk, V.M. Strilets, V.D. Kalygin, Ju.V. Zakharchenko // Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «TEKHNOHENNO-EKOLOHICHNA BEZPEKA». № 3(1/2018). S. 91-101.
11. **Glushkov V.M.** (1962). Vvedenie v teoriyu samovershenstvujushhijhsja sistem [Introduction to the theory of self-improving systems]. Kiev: Izd-vo KVIRTU, 1962. 109.
12. **Fishbern P.** (1978). Teorija poleznosti dlja prinyatija reshenij [Utility theory for decision making]. M.: Nauka, 1978. 352.
13. **Saati T.** (1977). Matematicheskie modeli konfliktnykh situacij [Mathematical models of conflict situations]. M.: Sov. Radio, 1977. 304.
14. **Kini R.L., Rajfa H.** (1981). Prinjatje reshenij pri mnogih kriterijah: predpochtenija i zameshhenija [Multi-Criteria Decision Making: Preferences and Substitutions]. M.: «Radio i svjaz'», 1981. 560.
15. **Zade L.** (1976). Ponjatje lingvisticheskoj peremenoj i ego primenenie k prinyatiju priblizhennykh reshenij [The concept of a linguistic variable and its application to making approximate decisions]. M.: «Mir», 1976.
16. **Podinovskij V.V., Nogin V.D.** (1982). Pareto-optimal'nye reshenija mnogokriterial'nykh zadach [Pareto-optimal solutions of multicriteria problems]. M.: Nauka, 1982. 254.
17. **Zaichenko Yu.P.** (2006). Doslidzhennia operatsii [Operations Research]. 7-me vyd. K.: Vydavnychi Dim «Slovo», 2006. 816.
18. **Voloshyn O.F., Mashchenko S.O.** (2006). Teorija pryiniattia rishen: Navchalnyi posibnyk [Decision Theory: A Textbook]. K.: Vydavnycho-polihrafichniy tsentr «Kyivskiy universytet», 2006. 304.
19. **Larichev O.I., Moshkovich E.M.** (1996). Kolichestvennye metody prinjatija reshenij [Quantitative decision making methods]. M.: Nauka, Fizmatlit, 1996. 208.
20. **Borisov A.N., Krumberg O.A., Fedorov I.P.** (1990). Prinjatje reshenij na osnove nechetkikh modelej: Primery ispol'zovanija [Fuzzy Model Decision Making: Case Studies]. Riga: Zinatne, 1990. 184.
21. **Voshhinin A.P., Sotirov G.R.** (1989). Optimizacija v uslovijah neopredelennosti [Optimization under uncertainty]. Izd-vo MJeI i Tehnika, 1989. 224.
22. **Kofman A.** (1982). Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv [Introduction to fuzzy set theory]. M., Radio i svjaz', 1982.
23. **Orlovskij S.A.** (1981). Problemy prinjatija reshenij pri nechetkoj informacii [Decision-making problems with fuzzy information]. M.: Nauka, 1981. 206.
24. **Pospelov D.A.** (1981). Logiko-lingvisticheskie modeli v sistemah upravlenija [Logical and linguistic models in control systems]. M.: Jenergoizdat, 1981. 232.
25. **Rotshtejn A. P.** (1999). Intel'kual'nye tehnologii identifikacii: nechetkaja logika, geneticheskie algoritmy, nejronnye seti [Intelligent identification technologies: fuzzy logic, genetic algorithms, neural networks]. Vinnica: UNIVERSUM – Vinnica, 1999. 320.
26. **Petrov E.G.** Analiz podhodov k resheniju zadachi poiska optimal'nogo reshenija v uslovijah neopredelennosti. / E.G. Petrov O.A. Pysklakova // Vestnik HNTU. 2007. №4(27). S. 14-19.
27. **Petrov E.G.** Postanovka zadachi vzaimnoj transformacii razlichnykh vidov neopredelennosti. / E.G. Petrov O.A. Pysklakova // Kompiuterne modeliuvannia ta intelektualni systemy: Zbirnyk naukovykh prats. 2007. S. 190-193.
28. **Petrov E.G., Novozhylova M.V., Hrebennik I.V.** (2004). Metody i zasoby pryiniattia rishen v sotsialno – ekonomichnykh systemakh [Methods and means of decision making in socio - economic systems]. K.: Tekhnika, 2004. 256.
29. **Prohorov Ju.V.** (1988). Matematicheskij jenciklopedicheskij slovar' [Mathematical encyclopedic dictionary]. M.: Sov. jenciklopedija, 1988. 250.
30. **Nejman Dzh., Morgenshtern O.** (1970). Teorija igr i jekonomicheskoe povedenie [Game theory and economic behavior]. M.: Nauka, 1970. 124.
31. **Ivahnenko A.G., Mjuller J.A.** (1985). Samoorganizacija prognoziruujushhij modelej [Self-organization of predictive models]. K.: Tehnika, 1985. 223.
32. **Kliger S.A., Kosolapov M.S., Tolstova Ju.N.** (1978). Shkalirovanie pri sbore i analize sociologicheskoi informacii [Scaling in the collection and analysis of sociological information]. M.: Nauka, 1978. 168.
33. **Katulev A.N., Vilenchuk L.S., Mihno V.N.** (1992). Sovremennij sintez kriteriev v zadachah prinjatija reshenij [Modern synthesis of criteria in decision-making problems]. M.: Radio i svjaz', 1992. 119.
34. **Petrov E.G.** Metodika ocenki adekvatnosti modelej tochechnoj identifikacii individual'nykh predpochtenij LPR. / E.G. Petrov, N.S. Shilo // Radioelektronika i informatika. 2003. №2. S. 97–103.
35. **Ruban I.** Features of decision support by experts of the situational center under conditions of uncertainty of input information in emergency situations. / Igor Ruban, Vadym Tiutiunyk, Olha Tiutiunyk // Informatsiini tekhnolohii i bezpeka. Materialy XX Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii ITB-2020. 2020. S. 120-124.

Михайло Олексійович Шишанов (доктор технічних наук, професор) <sup>1</sup>

Ігор Володимирович Кондратюк <sup>2</sup>

Андрій Олександрович Веретнов <sup>1</sup>

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

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

## МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ КОМПЛЕКСНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ВІДНОВЛЮВАЛЬНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

У статті розглянуті методичні основи комплексного обґрунтування вимог до відновлювальності складних технічних систем військового призначення.

Запропоновано порядок проведення комплексної оцінки можливості відновлення складних технічних систем військового призначення.

Показано, що з метою вирішення цього завдання необхідно вирішити цілий комплекс задач. До основних з яких відносяться:

аналіз виходу з ладу (втрата працездатності) складних технічних систем військового призначення. Для чого необхідно провести декомпозицію;

аналіз ураження складних технічних систем військового призначення при використанні за призначенням в ході ведення бойових дій;

аналіз особливостей відновлювального ремонту та можливостей ремонтних органів;

обґрунтування взаємозв'язку між ураженістю, живучістю складних технічних систем військового призначення та їх відновлюваністю;

обґрунтувати необхідність внесення змін у нормативну документацію при обґрунтуванні вимог до відновлювальності складних технічних систем військового призначення.

Вирішення цих задач, як показано у статті, може бути на основі системного підходу, який і покладений в основу статті, результатами якої є:

запропонована класифікація можливих пошкоджень складних технічних систем військового призначення в процесі експлуатації;

розглянута методика функціонально-морфологічної декомпозиції складних технічних систем військового призначення;

розглянуті основні особливості відновлювального ремонту складних технічних систем військового призначення;

визначено взаємозв'язок відновлювальності та живучості складних технічних систем військового призначення.

Показано, що розглянуті методичні основи являються основою для обґрунтування вимог до ремонтпридатності складних технічних систем військового призначення.

**Ключові слова:** складна технічна система; ураження; живучість; надійність; ремонтпридатність; відновлювальний ремонт; декомпозиція; відновлювальність.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасний етап технічного прогресу характеризується впровадженням складних технічних систем (СТС) в різні сфери людської діяльності. Особливо швидкими виявилися темпи впровадження їх у військовій справі. В даний час СТС знаходяться на озброєнні практично усіх видів Збройних Сил, що істотно підвищило бойові можливості військ та дозволяє їм вирішувати найскладніші завдання в різних умовах бойової обстановки.

Слід відзначити, що для забезпечення військ СТС в міру їх розвитку і удосконалення стають складнішими і постають постійні завдання щодо їх

утримання в постійній готовності до застосування за призначенням. З метою вирішення цих завдань передбачається виконання певного комплексу організаційно-технічних заходів, до числа яких відносяться заходи з відновлення експлуатаційних властивостей СТС, втрачених під час природнього старіння та зносу або впливу засобів ураження противника.

Експлуатаційні властивості СТС в залежності від причин та втрат можуть бути відновлені виконанням поточного ремонту або виконанням планового (середнього або капітального) ремонту і виконанням відновлювального ремонту [1].

Поточним ремонтом усуваються несправності на СТС в процесі їх експлуатації.

Плановий (середній, капітальний) ремонт СТС проводиться з певною періодичністю та спрямований на відновлення знижених в процесі експлуатації основних технічних характеристик, що визначають, в кінцевому підсумку, надійність СТС.

Відновлювальний ремонт СТС проводиться з метою відновлення працездатності СТС при нанесенні їм бойових пошкоджень.

Раціональна організація та виконання кожного з названих видів ремонту СТС дозволяє значною мірою підвищити їх ефективність, а також звести до мінімуму знаходження СТС в непрацездатному стані та витрати на їх відновлення.

**Аналіз остатніх досліджень і публікацій.** Дослідженню питань щодо обґрунтування вимог до відновлювальності складних технічних систем військового призначення присвячена низка робіт як вітчизняних так і закордонних вчених. Зокрема в роботі [2] для оцінювання ефективності відновлення озброєння та військової техніки запропонована методика оцінювання ефективності функціонування системи відновлення. Суть якої полягає в отриманні відомості про надійність відновлення озброєння та військової техніки за номенклатурою в кожній ланці структури системи відновлення, кількості відновлених зразків озброєння та військової техніки на кожному рівні ієрархії, кількості неохоплених ремонтно-відновлювальними роботами зразків озброєння та військової техніки в кожній ланці, кількості працездатних зразків озброєння та військової техніки на кожен добу операції (бойових дій). А у [3] показано обґрунтування методу моделювання процесу функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки угруповання військ. Деякі питання які впливають на відновлюваність озброєння та військової техніки (ОВТ) розглянуто у [4] де запропоновано метод прогнозування величини втрат озброєння та військової техніки під час ведення операцій (бойових дій). В роботі [5] наведено напрямки удосконалення технологічного процесу відновлення ОВТ шляхом застосування нових рухомих засобів ремонту і технічного обслуговування, а у роботі [6] розглядаються питання удосконалення інформаційного забезпечення перспективної автоматизованої системи управління матеріально-технічним забезпеченням шляхом формування процедури прогнозування очікуваних пошкоджень зразків ОВТ. В роботі [7] запропоновано методику оцінювання відновлюваності озброєння та військової техніки. Згідно запропонованої методики основним оціночним параметром відновлюваності зразків ОВТ може бути середній час простою ОВТ в ремонті, а у [8] розглянуто систему технічного забезпечення військ зв'язку ЗС України за досвідом проведення бойових дій складовою якої є підсистема відновлення.

**Мета статті.** Узагальнити методичні основи комплексного обґрунтування вимог до відновлювальності складних технічних систем військового призначення.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Аналіз причин виходу з ладу СТС показує, що всі вони можуть бути умовно розподілені на групи [9].

Першу групу складають причини, зумовлені природним зносом деталей. Процес зношування деталей є цілком закономірним. Ця закономірність проявляється в зміні стану, розмірів і форм робочих поверхонь деталей, що викликають погіршення показників вузлів і механізмів СТС. Такі несправності пов'язані з часом експлуатації СТС.

Другу групу причин становлять дефекти, зумовлені недосконалістю виробництва, конструктивними недоліками тощо. Такі дефекти виявляються раптово і призводять до непередбачених (випадкових) зупинок СТС.

Третю групу причин, які викликають пошкодження і несправності в СТС, складають причини, зумовлені різними аварійними ситуаціями. Ця група несправностей не пов'язана функціонально із часом експлуатації СТС. Несправності, викликані аварійними ситуаціями, з'являються зазвичай раптово, незалежно від термінів служби СТС. До цієї групи несправностей відносяться поломки і аварії, викликані порушенням правил експлуатації, бойові пошкодження, які трапляються у зв'язку із застосуванням противником різних засобів ураження, а також пошкодження, пов'язані із затопленнями, зіткненнями та перекиданням СТС.

На рис. 1. представлена класифікація причин, які викликають несправності у СТС військового призначення.

Кожна із зазначених причин обумовлює можливість появи дефекту і його характер, а також механізм його виявлення.

Величина і характер природного зносу деталей залежать від сил тертя і робочого середовища (охолоджуючої рідини, мастила, палива, газів), а також від умов, в яких відбувається експлуатація або зберігання СТС. В умовах мирного часу природний знос деталей є головною причиною, яка зумовлює виявлення несправностей в СТС. В результаті зносу робочих поверхонь збільшуються зазори в рухомих сполученнях деталей, змінюється взаємне їх розташування, що порушує нормальні умови роботи вузлів, механізмів і систем. Зміна розміру і форми деталей призводить до перерозподілу діючих навантажень, до збільшення контактних напруг, в результаті чого процеси зношування прискорюються. При значному збільшенні зазорів в сполученнях можуть відбуватися поломки

деталей внаслідок динамічних навантажень. колінчастого валу може викликати аварію двигуна  
Наприклад, знос робочих поверхонь з'єднання через його заклинювання.



Рис. 1. Класифікація причин несправностей і пошкоджень у СТС військового призначення.

Деформації деталей виникають головним чином в результаті динамічного впливу сил. Але вони можуть бути викликані також процесами старіння деталей, коливанням робочих температур тощо. Наприклад, відносне зміщення агрегатів призводить до інтенсивного зношування підшипників сполучених валів тощо. Все це в кінцевому підсумку скорочує ресурс агрегатів і призводить до виникнення відмов СТС.

При експлуатації СТС можуть з'явитися і такі дефекти, як утворення нагару і накипу на поверхнях деталей, пошкодження гальванічних і лакофарбових покриттів, старіння гумотехнічних і пластмасових виробів тощо.

Крім відмов і несправностей, що виникають в результаті поступової зміни властивостей деталей і сполучень, мають місце раптові відмови, поява яких функціонально не пов'язано з напрацюванням СТС. Причини подібних відмов обумовлюються прихованими дефектами металів (тріщини, тощо), недосконалістю технології виробництва тощо.

Комплексний вплив зазначених вище дефектів призводить до погіршення експлуатаційних властивостей СТС, до зниження показників їх бойових та технічних якостей.

Аварійні пошкодження в деталях і вузлах виникають внаслідок конструктивних або виробничих недоробок, порушень правил експлуатації, а також низької якості ремонту.

В умовах бойових дій найбільш поширеною причиною виникнення несправностей в СТС буде вплив уражаючих факторів різних засобів збройної

боротьби. Наслідком цього впливу можуть з'явитися деформація деталей, вузлів і агрегатів, викликані ударною хвилею вибуху; руйнування корпусу і пошкодження агрегатів, вузлів і деталей в результаті впливу снарядів ударної дії або кумулятивних засобів боротьби; загоряння виробів і, як наслідок, зміна структури матеріалу деталей від запалювальних засобів вибуху.

Поряд з цим в умовах бойових дій, а також в період бойової підготовки військ (сил) в мирний час певна частина СТС виходить з ладу через зіткнення, затоплення, перекидання, застрягання тощо.

Характер несправностей, викликаний цими причинами, може бути досить різноманітним. Так, наприклад, в результаті зіткнень або перекидань СТС виникає деформація деталей, вузлів, агрегатів; руйнуються зовнішні елементів СТС.

В результаті затоплень і застрягань можуть з'явитися несправності в апаратах, приладах і механізмах озброєння, оптики, електро-радіо-спеціалізація через руйнування лакофарбових покриттів, гумотехнічних виробів тощо. Несправності можуть виникнути також в системах живлення, змащування, двигуна внаслідок попадання в них води, піску, бруду тощо.

В умовах бойових дій не виключаються також несправності, властивості експлуатації СТС в мирний час. Навпаки, швидкість їх утворення в деталях, вузлах, агрегатах може зрости, оскільки СТС в умовах бойових дій працюють на граничних режимах, на пересіченій місцевості із наявністю природних і штучних перешкод.

Таким чином, в СТС можуть виникати, різноманітні пошкодження і відмови. Внаслідок цього СТС є виробами ремонту, для відновлення яких характерне широке коливання обсягу трудових витрат і номенклатури ремонтних робіт.

Чисельна оцінка можливості появи пошкоджень і відмов в СТС є величиною ймовірності і пов'язана, як правило, з певним фіксованим проміжком часу або величиною напрацювання. Оскільки поява несправностей в СТС носить випадковий характер, для їх прогнозування використовують ймовірностатистичні методи дослідження випадкових величин.

Одним з найважливіших факторів, які визначають тривалість бойового використання СТС, є їх стійкість до факторів ураження різних засобів збройної боротьби. У свою чергу, стійкість СТС може характеризуватися цілим рядом кількісних характеристик, найважливішою з яких є ураження. Ураження визначає можливість виходу з ладу СТС а також побічну можливість його відновлення і повернення в стрій [10].

Факт ураження СТС означає, що впливом засобів ураження порушена працездатність однієї або декількох складальних одиниць СТС, в наслідок чого він припиняє виконання завдань за призначенням.

СТС можуть вийти з ладу при пошкодженні основних складальних одиниць. Отже, завдання оцінки ураження полягає у визначенні ймовірності переходу СТС із справного стану в один із можливих станів, який виключає їх подальше бойове використання.

В умовах бойових дій СТС можуть виходити з ладу від різних засобів ураження [11]: стрілецької зброї; керованих ракет; вибуху мін, фугасів, снарядів; впливу ударної хвилі великої потужності тощо.

Майже всі засоби боротьби з СТС вимагають безпосереднього контакту засобів ураження зі СТС. Винятком може бути ударна хвиля великої потужності, яка володіє великою руйнівною силою. Тому для більшої частини випадків методика визначення ймовірності ураження СТС матиме багато спільного. Розглянемо ці випадки:

ймовірність ураження СТС при контакті із засобами ураження;

ймовірність ураження СТС від ударної хвилі великої потужності.

Ймовірність ураження СТС в першому випадку залежить від багатьох факторів, найважливішими з яких є уражаючі властивості боєприпасів які застосовуються і здатність СТС протистояти цим уражаючим властивостям. Остання обставина дає можливість використовувати в оцінці ураження СТС звичайні критерії оцінки ефективності стрільби.

Відомо, що критерієм ефективності стрільби може служити ймовірність ураження цілі, що

характеризує, з одного боку, ефективність елементу ураження; з іншого - стійкість, а разом з тим і живучість СТС.

Ймовірність виникнення пошкодження описується умовним законом ураження [12]. Для визначення умовного закону ураження цілі може бути використана методика, яка передбачає, що елемент ураження вже потрапив в СТС. Завдання полягає у визначенні характеру пошкоджень і величини завданих збитків. Розглянемо, які можуть бути наслідки події при попаданні елементу ураження в СТС і які їхні ймовірності [13-15].

Зазначимо, що величину  $G_1$  (ймовірність ураження одним пострілом) можна представити як величину, яка має відношення площі проекції СТС, потрапляння в яку виводить її з ладу  $F_{nop}$ , до всієї площі проекції СТС на площину розсіювання  $F_{zag}$  (1):

$$G_1 = \frac{F_{nop}}{F_{zag}}. \quad (1)$$

Звідси видно, що для оцінки  $F_{nop}$  необхідно знати конструкцію СТС, характеристику елемента ураження і, спираючись на експериментальні дані, можна завжди на площі проекції цілі провести межі, які визначають  $F_{nop}$  тобто межі площі, при попаданні в яку уражається якась важлива складальна одиниця СТС.

Розглянувши таким чином СТС, можна для даного напрямку вогню противника оцінити всі його складові. За сумою складових оцінюється стійкість СТС в цілому, а за величиною окремих складових судять про важливість тієї чи іншої причини і стійкості її окремих складальних одиниць [16].

Величина  $G_1$ , як основний параметр оцінки ураження, може бути прийнятною для всіх засобів ураження, що вимагають безпосереднього контакту засобів ураження із СТС. Цілком природно, що цей показник оцінки ураження не може бути прийнятним як оціночний параметр ударної хвилі великої потужності. В даному випадку необхідний інший показник, який визначає ураження СТС без контакту з нею засобів ураження. Таким показником може бути величина уражаючого імпульсу у фронті ударної (вибухової) хвилі.

Відомо, що СТС можуть виходити з ладу при вибухах потужних снарядів, фугасів в безпосередній близькості від них. При цьому від одного вибуху може вийти з ладу кілька виробів, оскільки основним уражаючим фактором в даному випадку є вибухова хвиля. Вона завдає пошкодження зовнішній укладці, руйнує прилади спостереження, зв'язку, змонтоване озброєння, а при великому і надмірному тиску перевертає і деформує СТС. Отже, в даному випадку основним параметром оцінки ураження є величина уражаючого імпульсу у фронті ударної (вибухової)



хвилі. Вона визначає радіус ураження, а разом з ним і ураження СТС.

Визначення можливості ураження даними засобом боротьби також може бути здійснено теоретичним шляхом.

Якщо СТС розташовані групою і противник, завдаючи удару, може відразу уразити кілька СТС, то за умови рівномірного розміщення СТС (з площею горизонтальної проекції  $F_n$ ) на деякій площі  $F$  ймовірність ураження кожної з них дорівнює математичному очікуванню відносної площини ураження (2):

$$W_{nop} = \frac{F_n}{F}. \quad (2)$$

При малому розсіюванні боєприпасів противника  $R_{nop}$  (в порівнянні з розмірами розміщення  $F$ ) математичне сподівання уражаючої площі дорівнює максимальному перекриттю, яке може бути визначено з рівняння (3):

$$\mu = \frac{\pi R_{nop}^2}{F}. \quad (3)$$

Тоді середня ймовірність ураження кожної СТС може бути виражена в залежності від щільності їх розміщення (4):

$$W_{nop} = \frac{\pi R_{nop}^2 L}{N}, \quad (4)$$

де  $N$  – загальна кількість СТС;

$L$  – щільність їх розміщення, тобто питома площа, яка припадає на одну СТС.

Знаючи кількість СТС, розміщених на місцевості, щільність їх розміщення, а також радіус ураження для даної СТС даними засобом ураження, можна визначити ймовірність ураження для одиничного випадку.

Зауважимо, що якщо противник буде діяти індивідуально по кожній СТС (тобто виробі розосереджені настільки, що противник змушений діяти по кожному з них), то ймовірність ураження СТС не буде залежати від загальної кількості СТС.

У цьому випадку ймовірність ураження кожної СТС визначається з урахуванням величини радіусу ураження і значень координат розсіювання застосованих засобів ураження. Математично це може бути представлено так (5) [17]:

$$W_{nop} = 1 - e^{-\frac{R_{nop}^2 h^2}{E^2}}, \quad (5)$$

де  $E = Ex = Ey$  – координати розсіювання;

$h$  – постійний коефіцієнт, що враховує рельєф місцевості і точку застосування засобів ураження (0,3 - 0,5).

В сучасних умовах досить часто можна зустріти таке поєднання потужності уражаючої дії засобів ураження і стійкості СТС, коли закон ураження цілі набуває ступінчастий вигляд, тобто в межах певної дальності вибуху від цілі

ймовірність ураження СТС можна вважати рівною одиниці, а за межами цієї дальності – нулю.

Таку картину можна спостерігати, наприклад, при дії потужного вибуху в точкову ціль. В цьому випадку умовою ураження цілі будуть задовольняти всі відхилення точок вибуху, що не перевищують значення  $R_{nop}$ . Ймовірність поразки в цьому випадку визначається також за рівнянням (5) зі своїми значеннями  $R_{nop}$ ,  $E$  і  $h$ . Радіус ураження цілі конкретними боєприпасами (бойовою частиною ракети, снарядом, міною або фугасом тощо) визначається зазвичай експериментально.

Ймовірність ураження цілі визначається ймовірністю нанесення ураження частин СТС пробоїн, вм'ятин та інших пошкоджень, які викликають вихід з ладу її життєво важливих складальних одиниць, що визначають рухливість, захищеність, бойову ефективність озброєння тощо.

Отже, ймовірність ураження СТС рівнозначна в даному випадку ймовірності виходу з ладу будь-якого агрегату, вузла або системи. На основі ймовірностей пошкодження визначається можлива трудомісткість відновлення СТС, розраховуються нормативи і номенклатура возимих запасів СТС, комплекти ремонтно-технологічної оснастки, розробляються типові технологічні процеси, рухомі засоби відновлення.

Для визначення ймовірності ураження виробу СТС  $W_{nop}$  та в подальшому для дослідження стійкості виробу СТС, в статті використана формула академіка А.М. Колмогорова (6) [18]:

$$W_{nop} = P_{mn} G_m \quad (6)$$

де  $P_{mn}$  – ймовірність попадання у СТС  $m$  елементів ураження з  $n$  пострілів;

$G_m$  – умовний закон ураження, тобто ймовірність ураження СТС за умови, що в неї потрапило  $m$  елементів ураження.

Визначення ймовірності ураження СТС за формулою академіка Колмогорова А.М. надає можливість визначити оцінку ураження СТС та визначити стійкість їх в цілому за величиною окремих площин. За величиною окремих площин ураження з'являється можливість визначити важливість тієї чи іншої складальної одиниці СТС.

На відміну від вище розглянутих видів ремонту СТС, які проводяться переважно в стаціонарних умовах, відновлювальний ремонт має ряд особливостей та характерний для СТС військового призначення, основним етапом експлуатації яких є – використання за призначенням.

Відомо, що відновлювальний ремонт проводиться з метою усунення наслідків впливу засобів ураження противника на СТС та їх складальні одиниці.

Характер і складність цих пошкоджень залежить від багатьох факторів, до основних з яких відносяться, тип СТС, його конструкція, тип

та кількість боєприпасів які були застосовані противником для їх знищення.

Від характеру і складності пошкоджень залежить об'єм їх відновлювального ремонту (величина трудовитрат на відновлювальний ремонт) та склад необхідних для його виконання сил і засобів (ремонтного обладнання, ЗП та експлуатаційних матеріалів).

Враховуючи той факт, що відновлювальний ремонт СТС характерний умовам військового часу та терміни на його проведення обмежені, підготовка до нього повинна проводитись завчасно.

В процесі підготовки до відновлювального ремонту СТС, використовуючи результати прогнозування складності та характеру очікуваних пошкоджень їх складальних одиниць з'являється можливість у розрахунку необхідного складу ремонтних сил і засобів, їх накопичення, розробці ремонтної документації та визначати оптимальні варіанти організації відновлення пошкоджених СТС.

Трудовитрати на виконання відновлювального ремонту СТС залежать від багатьох факторів, до основних з яких можуть бути віднесені: спосіб ремонту; конструкційні особливості СТС; характер пошкодження складальних одиниць СТС; ступінь забезпеченості ремонтних бригад необхідним ремонтним обладнанням, ЗП, експлуатаційними матеріалами; рівень професійної підготовки особового складу ремонтних бригад.

Аналіз перерахованих факторів вказує на те, що без накладення обмежень на задачу, яку необхідно вирішити неможливо отримання однозначного рішення. Виходячи з цього, основною умовою для рішення цієї задачі – є мінімізація часу на відновлювальний ремонт СТС, які будуть в основному визначатися обраним способом ремонту.

Отже, з вище перерахованого слідує, що відновлювальний ремонт значно відрізняється від ремонту в стаціонарних умовах і визначається, як ремонт, який проводиться з метою усунення бойових ушкоджень і відмов СТС, приведення його до технічно справного стану в ході ведення бойових дій. При цьому, відновлювальний ремонт характеризується веденням технічної розвідки, евакуації непрацездатних СТС, їх ремонт, доукомплектування та повернення до строю, а

відповідно і час на відновлювальний ремонт буде інший [19]. Основним показником відновлювального ремонту – є оперативний час відновлення та може бути визначений за формулою (7):

$$T_{відн} = T_{TxP} + T_{ев} + T_{рем} + T_{встрій}, \quad (7)$$

де  $T_{TxP}$  – час ведення технічної розвідки непрацездатних СТС;

$T_{ев}$  – час евакуації непрацездатних СТС до ЗППМ;

$T_{рем}$  – час виконання ремонту СТС;

$T_{встрій}$  – час повернення до строю працездатних СТС.

В умовах ведення бойових дій військ основною властивістю, яка визначає термін служби виробів СТС, є їх живучість [20]. Живучість СТС характеризує і таку властивість, як відновлюваність СТС у випадках їх ураження. Відновлюваність зазвичай характеризується тими ж показниками, що і ремонтпридатність, тобто часом відновлення СТС  $T_v$ , ймовірністю його відновлення в заданий термін  $P_v(t)$ .

У ряді випадків для оцінки живучості СТС може знадобитися єдиний показник оцінки, що охоплює одночасно і стійкість і відновлюваність досліджуваної СТС. Показник, що враховує взаємозв'язок ймовірності виходу СТС з ладу з ймовірністю його відновлення у випадках ураження (пошкодження), і є єдиним показником оцінки живучості. Живучість може бути визначена за формулою (8):

$$Ж = \frac{K_в^2 W_{вв}}{1 + (K_в^2 - 1) W_{вв}}, \quad (8)$$

де  $W_{вв}$  – показник стійкості СТС у бойовому зіткненні з противником;

$K_в$  – показник оцінки відновлення СТС у випадках їх ураження.

За допомогою проведення машинного експерименту отримані результати значень показника живучості в залежності від показників складових частин наведені в таблиці 1.

З наведених даних в таблиці видно, що зі збільшенням стійкості  $W_{вв}$  та відновлюваності  $K_в$  їх живучість різко зростає.

Таблиця 1

$W_{вв}$	$K_в$						
	0,10	0,30	0,50	0,70	0,80	0,90	0,95
0,10	0,0011	0,0043	0,0099	0,0227	0,0380	0,0818	0,1582
0,30	0,0099	0,0369	0,0826	0,1734	0,2640	0,4480	0,6376
0,50	0,0270	0,0968	0,2000	0,3687	0,5000	0,6931	0,8210
0,70	0,0517	0,1736	0,3278	0,5313	0,6620	0,8447	0,9103
0,90	0,0896	0,2583	0,4478	0,6539	0,7637	0,8785	0,9408

При обґрунтуванні та завданні вимог до перспективних СТС необхідним є визначення їх експлуатаційних властивостей, які проявляються в найбільш жорстких умовах експлуатації – при використанні за призначенням. Проведені дослідження показали необхідність до обґрунтування основних показників надійності та живучості.

Для встановлення взаємозв'язку між надійністю і живучістю СТС та виявлення інших властивостей, які необхідно досліджувати при створенні перспективних СТС в статті проведено декомпозицію СТС. Особливістю проведення такої декомпозиції є використання функціонально-морфологічного принципу, з наданням переваги функціональному принципу. Відповідно до цього підходу, функціональний опис СТС представляє собою опис процесів його застосування за призначенням, в якому відображена мета функціонування та засоби її досягнення.

Сутність декомпозиції СТС за функціонально-

морфологічним принципом полягає в тому, що початковим моментом декомпозиції є визначення основних властивостей СТС, які проявляються при використанні СТС за призначенням.

Результати декомпозиції СТС військового призначення показані на рис.2.

Як видно із представленої декомпозиції з'явилась можливість визначити такі властивості, як командна керованість, універсальність, та ще одну складову живучості, як відновлювальний ремонт.

По суті відновлювальний ремонт представляє собою своєрідний місток між надійністю та живучістю СТС, та дозволяє встановити ще одну властивість, як відновлюваність.

З вище вказаного слідує, що стає необхідним здійснення подальших досліджень щодо відновлювальності, як важливої властивості СТС військового призначення та внесення відповідних змін до нормативної документації щодо цього поняття.

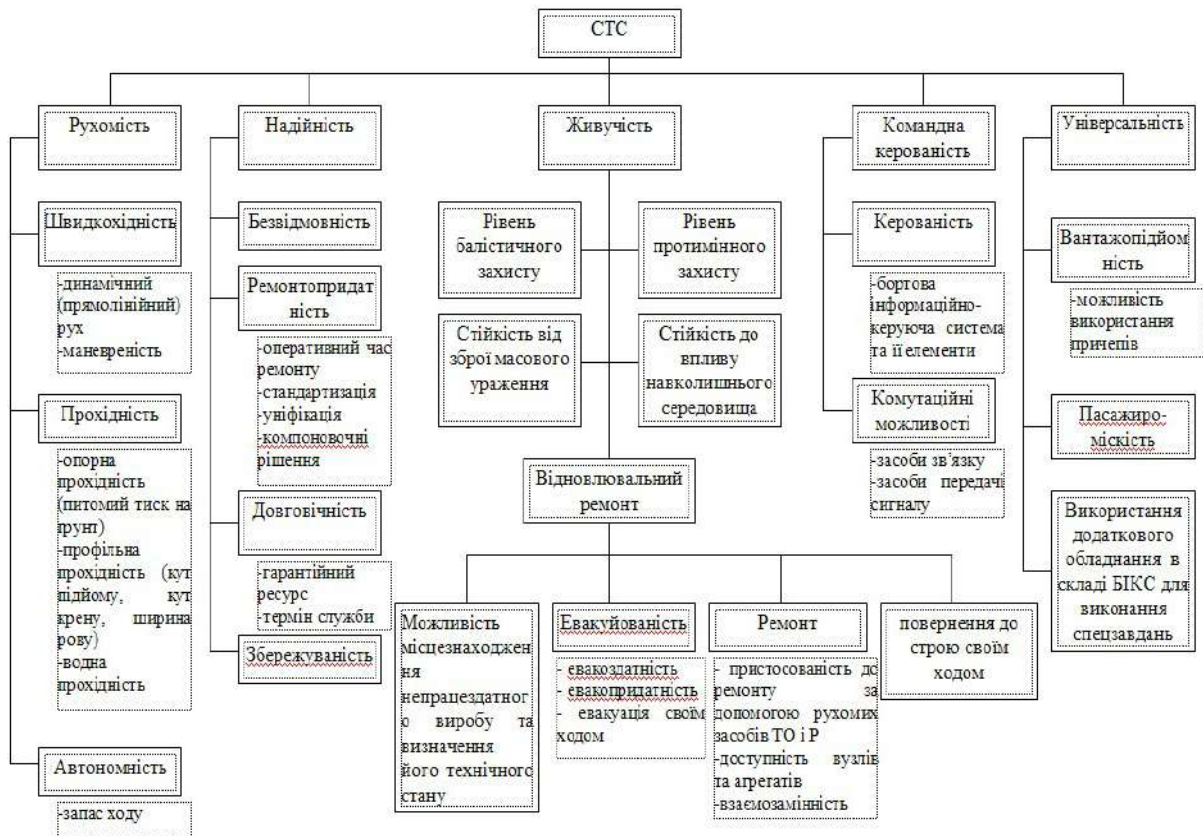


Рис.2 Декомпозиція СТС військового призначення

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Отже, вирішення задач, які показано у статті, може бути на основі системного підходу, який і покладений в основу статті, результатами якої є запропонована класифікація можливих пошкоджень складних технічних систем в процесі експлуатації; розглянута методика функціонально-морфологічної декомпозиції складних технічних систем військового призначення; розглянуті

основні особливості відновлювального ремонту складних технічних систем військового призначення; визначено взаємозв'язок відновлювальності та живучості складних технічних систем військового призначення.

Також, розглянуті методичні основи являються основою для обґрунтування вимог до ремонтпридатності складних технічних систем військового призначення.

**Література**

1. Ковтуненко, А.П. Шишанов, М.А. Зубарев, В.В. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем. Монография, книжное издательство. Киев 2007. с. 3-7.
2. Дачковський, В.О. Стрельбицький, М.А. Математична модель функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки. “Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони”, 2020. № 2(38) С. 87- 94. DOI:10.33099/2311-7249/2020-38-2-87-94
3. Шишанов, М.О. Гуляев, А.В., Шевцов, М.М. Обґрунтування методу моделювання процесу функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки угруповання військ. Озброєння та військова техніка, 2017, №1(13), с. 75-77
4. Дачковський, В., Гудима, В., & Сампір, О. (2021). Методичний підхід до прогнозування потоку ремонтного фонду зразків озброєння та військової техніки. Збірник наукових праць ЛОГОС. <https://doi.org/10.36074/logos-26.02.2021.v1.40>
5. Наумов, А.В. Тетенькин, А.С. Перевертов, А.А. Татарнов, В.В. Совершенствование технологического процесса восстановления машин путем применения новых образцов подвижных средств технического обслуживания и ремонта. [Електронний ресурс]: Режим доступу: [http://www.science-bsea.bgita.ru/2012/mashin\\_2012\\_16/naumov\\_sov.ht](http://www.science-bsea.bgita.ru/2012/mashin_2012_16/naumov_sov.ht).
6. Запара, Д.М. Бровко, М.Б. Старцев, В.В. Кушпета, Р.Ю. Дудко, М.В. Впровадження процедури прогнозування пошкоджень ОВТ від впливу осколкової дії засобів ураження в перспективну АСУ матеріально-технічним забезпеченням. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, 2018, №4(58) с. 50-56.
7. Дачковський, В.О. Радченко, Л.М. Методика оцінювання відновлюваності озброєння та військової техніки. “Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2019. № 3(36) С. 89-96. DOI:10.33099/2311-7249/2019-36-3-89-96
8. Гришина, Н.С. Білий, О.А. Побережець, Т.В. Новак, А.О. Ткач, В.О. Оптимізація системи технічного забезпечення військ зв'язку ЗС України за досвідом проведення бойових дій. Молодий вчений. 2018. № 12 (64), с. 563-565.
9. Марютин, М.И. Гнедовский, Ю.Е. Гуляев, А.В. Технология ремонта бронетанковой техники. Издание академии. Москва 1973. с. 9- 18.
10. Шишанов, М.О. Веретнов, А.О. Методичні основи дослідження ремонтпридатності військової автомобільної техніки. Озброєння та військова техніка. 23(3), с. 53–57. doi: 10.34169/2414-0651.2019.3(23).
11. Шишанов, М.А. Чепков, И.Б. Лапицкий, С.В. Куприненко, А.Н. Олиярник, Б.А. Башинский, В.Г. Гуляев, А.В., Котляр, С.С. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 10. Система полигонных испытаний вооружения и военной техники: методологические основы. Монография – К.: Издательский дом Дмитрия Бурого, 2016 – с. 39.
12. Кузнецова, В.И. Барзиловича, Е.Ю. Надежность и эффективность в технике / Справочник под. Ред. Т.8. – Эксплуатация и ремонт. – М.: Машиностроение, 1990. – с. 320.
13. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. / Венцель Е.С. – М. Наука 1991 – с.145.
14. Шишанов, М.А. Лапицкий, С.В. Кучинский, А.В. Оленович, И.Ф. Чепков, И.Б. Васковский, М.И. Гурнович, А.В. Бисык, С.П. Куприненко, А.Н. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Т. 9. Прикладные аспекты испытаний и теоретико-экспериментальных исследований вооружения и военной техники. Монография – К.: Издательский дом Дмитрия Бурого, 2015 – с. 433.
15. Венцель, Е. Теория вероятностей. М. «Наука», 1969 – с.124-127.
16. Половко, А.М. Основы теории надежности. – М.: Наука, 1964. – с. 206.
17. Саати, Т.Л. Элементы теории массового обслуживания и ее применения. – М.: Сов. радио, 1974. – с. 233.
18. Кофман А., Крюон Ф. Массовое обслуживание. Теория и приложение /Пер. с фран. – М.: Наука, 1975. – с. 120.
19. Дачковський, В.О. Сампір, О.М. Алгоритм функціонування системи логістичного забезпечення. “Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони”, НУОУ. 2019. № 2(35) с. 87-92. DOI:10.33099/2311-7249/2019-35-2-87-92
20. Дачковський, В.О. Методика визначення характеристик живучості озброєння та військової техніки. Social development & Security. 2020. №10(1), с. 18-24. DOI:10.33445/sds.2020.10.1.3.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОМПЛЕКСНОГО ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ВОССТАНАВЛИВАЕМОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

*Михаил Алексеевич Шишанов (доктор технических наук, профессор) <sup>1</sup>*

*Игорь Владимирович Кондратюк <sup>2</sup>*

*Андрей Александрович Веретнов <sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Центральный научно-исследовательский институт вооружения и военной техники  
Вооруженных Сил Украины, Киев, Украина*

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

*В статье рассмотрены методические основы комплексного обоснования требований к восстанавливаемости сложных технических систем военного назначения.*

*Предложен порядок проведения комплексной оценки возможности восстановления сложных технических систем военного назначения.*

*Показано, что с целью решения этой задачи необходимо решить целый комплекс задач. К основным из которых относятся:*

*анализ выхода из строя (потеря трудоспособности) сложных технических систем военного назначения. Для чего необходимо провести декомпозицию;*

*анализ поражения сложных технических систем военного назначения при использовании по назначению в ходе ведения боевых действий;*

*анализ особенностей восстановительного ремонта и возможностей ремонтных органов;*

*обоснование взаимосвязи между пораженностью, живучестью сложных технических систем военного назначения и их восстанавливаемостью;*

*обосновать необходимость внесения изменений в нормативную документацию при обосновании требований к восстанавливаемости сложных технических систем военного назначения.*

*Решение этих задач, как показано в статье, может быть на основе системного подхода, который и положен в основу статьи, результатами которой являются:*

*предложена классификация возможных повреждений сложных технических систем военного назначения в процессе эксплуатации;*

*рассмотрена методика функционально-морфологической декомпозиции сложных технических систем военного назначения;*

*рассмотрены основные особенности восстановительного ремонта сложных технических систем военного назначения;*

*определена взаимосвязь восстанавливаемости и живучести сложных технических систем военного назначения.*

*Показано, что рассмотренные методические основы являются основой для обоснования требований к ремонтнопригодности сложных технических систем военного назначения.*

**Ключевые слова:** *сложная техническая система; поражения; живучесть; надежность; ремонтнопригодность; восстановительный ремонт; декомпозиция; восстанавливаемость.*

## METHODOLOGICAL FUNDAMENTALS OF COMPLEX JUSTIFICATION OF REQUIREMENTS FOR COMPREHENSIBILITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

*Mychailo Shishanov (Doctor of Technical Sciences, Professor) <sup>1</sup>*

*Igor Kondratiuk <sup>2</sup>*

*Andrei Veretnov <sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Central Research Institute of Armaments and Military Equipment  
Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

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

*The methodical bases of complex substantiation of requirements to reproducibility of difficult technical systems of military purpose are considered in the article.*

*The procedure for conducting a comprehensive assessment of the possibility of restoring complex technical systems for military purposes is proposed.*

*It is shown that in order to solve this problem it is necessary to solve a whole set of problems. The main ones are:*

*failure analysis (disability) of complex technical systems for military purposes. Why it is necessary to decompose;*

*analysis of the defeat of complex technical systems for military use when used for its intended purpose during hostilities;*

*analysis of features of restoration repair and possibilities of repair bodies;*

*substantiation of the relationship between damage, survivability of complex technical systems for military purposes and their reproducibility;*

*to substantiate the need to make changes to the regulatory documentation when substantiating the requirements for the reproducibility of complex technical systems for military purposes.*

*The solution of these problems, as shown in the article, can be based on a systematic approach, which is the basis of the article, the results of which are:*

*the classification of possible damages of difficult technical systems of military purpose in the course of operation is offered;*

*the technique of functional-morphological decomposition of complex technical systems of military purpose is considered;*

*the main features of restoration repair of complex technical systems of military purpose are considered; the relationship between the reproducibility and survivability of complex technical systems for military purposes.*

*It is shown that the considered methodical bases are the basis for substantiation of requirements to maintainability of difficult technical systems of military purpose.*

**Keywords:** *complex technical system; lesions; vitality; reliability; maintainability; restoration repairs; decomposition; reproducibility.*

### References

1. Kovtunenکو, A.P. Shishanov, M.A. Zubarev, V.V. Osnovy teorii vosstanovleniya ekspluatatsionnykh svoystv tekhnicheskikh sistem. Monografiya, knizhnoye izdatel'stvo. Kiyev 2007. s. 3-7.
2. V. Dachkovskiy, M. Strelbitskiy Mathematical model of system functioning restoration of weapons and military equipment. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*. 2020. № 2(38) С. 87-94. DOI:10.33099/2311-7249/2020-38-2-87-94
3. Shishanov, M.O. Gulyaev, A.V., Shevtsov, M.M. Exploring the method of modeling the process of the function of the system and the updated technology and technical technology. *Ozbroennya viiskova tekhnika*, 2017, No. 1 (13), p. 75-77
4. Dachkovskyy, V., Hudyma, V., & Sampir, O. (2021). Metodychnyy pidkhid do prohnozuvannya potoku remontnoho fondu zrazkiv ozbroynnykh ta viys'kovoyi tekhniki. *Zbirnyk naukovykh prats' LОHOS*. <https://doi.org/10.36074/logos-26.02.2021.v1.40>
5. Naumov, A.V. Tetenkin, A.S., Perevertov, A.A., Tatarnov, V.V. Improving the technological process of restoration of machines through the use of new samples of mobile tools for maintenance and repair. [Electronic resource]: Access mode: [http://www.science-bsea.bgita.ru/2012/mashin\\_2012\\_16/naumov\\_sov.htm](http://www.science-bsea.bgita.ru/2012/mashin_2012_16/naumov_sov.htm).
6. Zapara, D.M. Brovko, M.B. Startsev, V.V. Kushpet, R.Yu. Dudko, M.V. In the process of forecasting the prognosis of the shipment of OVT, I'm pouring shrapnel and other ideas into perspective ACS with material and technical care. *Zbirnik naukovskikh prats of the Kharkiv National University of the Powers*, 2018, No. 4 (58) p. 50-56.
7. V. Dachkovskiy, L. Rodchenco, Recovery methodology weapons and military equipment. *Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*. 2019. №1(36) p. 89-96. DOI:10.33099/2311-7249/2019-36-3-89-96
8. Grishina, N.S. Biliy, O.A. Poberezhets, T.V. Novak, A.O. Tkach, V.O. Optimization of the system of technical support for the sound of the AP of Ukraine for the conduct of combat engagements. *Young introductory*. 2018.No 12 (64), p. 563-565.
9. Maryutin, M.I. Gnedovskiy, YU.Ye. Gulyayev, A.V. Tekhnologiya remonta bronetankovoy tekhniki. Izdaniye akademii. Moskva 1973. s. 9- 18.
10. Shishanov, M.O. Veretnov, A.O. Metodichni osnovi doslidzhennya remontoprdatnosti viys'kovoï avtomobil'noï tekhniki. *Ozbroennya ta viys'kova tekhnika*. 23(3), s. 53–57. doi: 10.34169/2414-0651.2019.3(23).
11. Shishanov, M.A. Chepkov, I.B. Lapits'kiy, S.V. Kuprinenko, A.N. Oliyarnik, B.A. Bashinskiy, V.G. Gulyaev, A.V., Kotlyar, S.S. Osnovy voyenno-tekhnicheskikh issledovaniy. Teoriya i prilozheniya. T. 10. Sistema poligonnykh ispytaniy vooruzheniya i voyennoy tekhniki: metodologicheskkiye osnovy. Monografiya – K.: Izdatel'skiy dom Dmitriya Burago, 2016 – s. 39.
12. Kuznetsova, V.I. Barzilovicha, Ye.YU. Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike / Spravochnik pod. Red. T.8. – Ekspluatatsiya i remont. – M.: Mashinostroyeniye, 1990. – s. 320.
13. Ventsel' Ye.S., Ovcharov L.A. Teoriya sluchaynykh protsessov i yeye inzhenernyye prilozheniya. / Ventsel' Ye.S. – M. Nauka 1991 – s.145.
14. Shishanov, M.A. Lapitskiy, S.V. Kuchinskiy, A.V. Olenovich, I.F. Chepkov, I.B. Vas'kovskiy, M.I. Gurnovich, A.V. Bisyk, S.P. Kuprinenko, A.N. Osnovy voyenno-tekhnicheskikh issledovaniy. Teoriya i prilozheniya. T. 9. Prikladnyye aspekty ispytaniy i teoretiko-eksperimental'nykh issledovaniy vooruzheniya i voyennoy tekhniki. Monografiya – K.: Izdatel'skiy dom Dmitriya Burago, 2015 – s. 433.
15. Ventsel', Ye. Teoriya veroyatnostey. M. «Nauka», 1969 – s.124-127.
16. Polovko, A.M. Osnovy teorii nadezhnosti. – M.: Nauka, 1964. – s. 206.
17. Saati, T.L. Elementy teorii massovogo obsluzhivaniya i yeye primeneniya. – M.: Sov. radio, 1974. – s. 233.
18. Kofman A., Kryuon F. Massovoye obsluzhivaniye. Teoriya i prilozheniye /Per. s fran. – M.: Nauka, 1975. – s. 120.
19. V. Dachkovskiy, O. Sampir, Algorithm of logistic protection system operation. “*Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence*”, 2019. № 2(35) p. 87-92. DOI:10.33099/2311-7249/2019-35-2-87-92
20. Dachkovskiy, V.O. Method of determination of survival characteristics of weapons and military equipment. *Social development & Security*. 2020. №10(1), p. 18- 24. DOI: 10.33445/sds.2020.10.1.3.

*Артем Володимирович Братко* (кандидат військових наук, доцент)  
*Анатолій Борисович Мисик* (доктор військових наук, доцент)

*Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Богдана Хмельницького,  
 Хмельницький, Україна*

## АНАЛІЗ МЕТОДОЛОГІЧНОГО АПАРАТУ ОЦІНКИ ЗАГРОЗ У СФЕРІ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ

*Проаналізовано існуючий науково-методологічний апарат, який розроблено у відомствах сектору безпеки і оборони на предмет його застосування в штабах органів управління Державної прикордонної служби України та дослідницьких організаціях. Методологія оцінювання загроз CIRAM 2.0, яка використовується у Державній прикордонній службі України, може бути доповнена методикою, що ґрунтується на застосуванні методу кортежів. Для реалізації методології оборонного планування, на етапі оцінювання сценарію та ситуації що їх складають, рекомендується використовувати метод аналізу ієрархії. У якості методів стратегічного аналізу для визначення напрямів розвитку частин та підрозділів Державної прикордонної служби України, обґрунтування їх завдань, адекватними методами є SWOT – аналіз та Q – аналіз, вхідні дані яких готуються з використанням методів кортежів, аналізу ієрархії та з використанням методології CIRAM 2.0. В роботі органів управління Державної прикордонної служби України рекомендується застосування методології комплексного використання військових і невійськових сил та засобів сектору безпеки і оборони для протидії сучасним загрозам воєнній безпеці України та методології дослідження воєнної безпеки.*

**Ключові слова:** методологія; планування дій; загрози; Державна прикордонна служба України.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Аналіз становлення Державної прикордонної служби України як правоохоронного органу спеціального призначення, змін в системі національної безпеки України, змісту Концепції розвитку Сектору безпеки і оборони України та Концепції розвитку Державної прикордонної служби України (ДПСУ) до 2020 року, подій на півдні та сході України показує загострення низки протиріч загальних для військового управління та специфічних для ДПСУ.

Основними серед них є такі:

між системою прикордонної безпеки, її метою та функціями, завданнями, формами, способами діяльності, спроможностями, ресурсами окремих суб'єктів;

між вимогами до ДПСУ як до правоохоронного органу спеціального призначення та як до військового формування.

Мають місце також невідповідності:

між змістом і обсягом нових завдань, способами захисту державного кордону та правовим статусом частин і підрозділів ДПСУ, можливостями, підготовленістю та притаманними способами дій підрозділів ДПСУ;

між необхідністю регламентації відносин між суб'єктами національної безпеки та неоднозначністю їх визначення законодавством і планами взаємодії.

Таким чином, потреба розвитку основ застосування та підготовки сил безпеки та оборони до дій в умовах сучасної «гібридної» війни, забезпечення обґрунтування планів участі частин та підрозділів ДПСУ у реагуванні на ситуації, в

тому числі воєнного характеру, обумовлена необхідністю ефективного поєднання їх спроможностей із загальною системою забезпечення національної безпеки для нейтралізації комплексних загроз. Принципові зміни характеру дій противника та боротьби з ним, статусу прикордонного відомства та його завдань у воєнних діях гібридного характеру, необхідність раціонального поєднання правоохоронних та військових способів дій щодо виконання спільних завдань, їх швидкої адаптації до змін обстановки зумовлюють необхідність удосконалення методологічних основ планування оперативно-службової діяльності ДПСУ.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Значний науковий внесок у дослідження та розробку загальних методологічних підходів до дослідження системи національної та прикордонної безпеки, планування заходів зроблений відомими вченими В. Ю. Богдановичем [1–3], В. П. Горбуліним [4], А. Б. Качинським [5], Ю. Г. Даником [6], Д. А. Купрієнком [7], А. А. Лобановим [8], І. С. Романченком [9], Ю. В. Пундою та В. М. Телелимом [10].

Основні напрями та шляхи підвищення ефективності службово-бойових дій частин та підрозділів ДПСУ досліджувались В. М. Серватюком [11], В. А. Кириленком [12], В. О. Назаренком та О. М. Ставицьким [13], а також А. Б. Мисиком та І. С. Катеринчуком [14]. Аналіз цих робіт показав, що в межах їх завдань досліджувались процеси обміну інформацією та робота органів управління, форми і способи оперативно-службових дій та структура

підрозділів ДПСУ. Методологічні засоби були орієнтовані на вирішення питань взаємодії в рамках проблем управління та тактики дій. До агресії Росії проти України, у зв'язку із зменшенням військової складової у оперативно-службових діях, у дослідженнях не достатньо уваги приділялось комплексному застосуванню частин та підрозділів ДПСУ та інших правоохоронних органів і військових формувань.

**Мета статті.** Провести аналіз наявного методологічного апарату, який визначає аналіз загроз у сфері безпеки державного кордону.

У результаті аналізу джерел виділяються раніше не вирішені частини загальної проблеми, яким присвячена стаття.

### Виклад основного матеріалу дослідження

У якості загальної платформи методології планування оперативно-службової діяльності ДПСУ покладається модель оцінки ризиків, та методологія оборонного планування. Для виконання визначених завдань в кожному районі (на об'єкті) призначаються підрозділи (елементи оперативної побудови), які володіють спроможностями та виконують завдання різними

способами. Спроможність розглядається як здатність структурної одиниці або сукупності сил та засобів виконувати певні завдання за певних умов обстановки, ресурсного забезпечення та відповідно до встановлених стандартів. Для оцінки окремих спроможностей використовуються методики оперативно-тактичних розрахунків.

Загальна методика вирішення цієї задачі полягає у декомпозиції загроз за сферами та оцінці факторів, що їх визначають, формуванні інформаційних ознак зміни стану параметрів обстановки та факторів. Це дасть змогу систематизувати та конкретизувати параметри загроз у різних сферах, оцінити рівень загроз та описати стан обстановки в цілому, визначити параметри загроз, яким потрібно протидіяти, а в подальшому конкретизувати завдання, ресурси та способи дій суб'єктів. В цілому це забезпечить конкретизацію обґрунтування мети, завдань суб'єктам та цілеспрямоване планування оперативно-службової діяльності ДПСУ.

Методи, та методики, які вирішують це завдання, оцінка їх придатності, достовірності та можливості застосування у якості штабних приведена у таблицях 1 та 2.

Таблиця 1

Методика верифікації методик оцінки безпекового середовища

№ вимоги	Зміст вимоги	Оцінка «ідеального» варіанту	Назва НМА						
			Метод кортежів [15]	PEST-аналіз [3, 11]	SWOT-аналіз [4, 7]	Метод таксономії [5, 16]	Q – аналіз [4]	CIRAM-2.00 [5, 16]	Метод аналізу ієрархій [2, 15]
			Оцінка релевантності НМА						
1	Оцінка факторів загрози, врахування їх природи	3	0	0	0	3	0	2	3
2	Прогнозування розвитку обстановки	3	2	2	2	1	2	3	1
3	Формування і оцінка сценаріїв обстановки	3	0	0	1	1	0	3	1
4	Адекватність представлення характеру конфлікту	3	-	-	-	-	-	-	-
5	Результати оцінювання однозначно ідентифікують ситуацію щодо складу та можливостей противника	3	0	3	2	2	2	3	2
6	Адекватність представлення зв'язків між факторами загрози	3	3	3	2	3	3	3	2
7	Адекватність врахування рівня впливу загрози	3	2	2	2	2	2	3	2
8	Можливість одержання початкових даних	3	2	2	2	2	2	3	2
9	Оперативність проведення оцінки	3	2	2	2	1	2	3	1
10	Можливість оцінки уразливості від загрози	3	2	2	2	2	2	3	2
Підсумок									
Кількість виконаних вимог ( $N_{max}$ – для «ідеального» варіанту, $N_i$ – для інших НМА).		10	9	7	8	3	5	5	
Сума балів ( $S_{max}$ – для «ідеального» варіанту, $S_i$ – для інших НМА).		30	27	25	26	10	15	15	27
Показник придатності ( $K_{ni} = N_i / N_{max}$ ).		1	0,9	0,7	0,8	0,3	0,5	0,5	0,9
Показник достовірності ( $K_{pi} = S_i / S_{max}$ )		1	0,8	0,6	0,6	0,3	0,5	0,5	0,9
Можливість застосування у роботі органів управління			2	1	2	1	1	3	3

Таблиця 2

Вербально-числова шкала оцінювання вимог

Якісна оцінка НМА	Ознака достовірності НМА
3 – «відповідає»	Аспект повною мірою враховано у НМА.
2 – «переважно відповідає»	Аспект в основному враховано, але НМА потребує несуттєвого (методичного) доопрацювання.
1 – «частково відповідає»	Аспект частково враховано, але НМА потребує суттєвого (методологічного) доопрацювання. Або неможливо встановити ступінь врахування аспекту.
0 – «не відповідає»	Аспект не може бути враховано у НМА.

За результатами оцінки найбільш адекватними побудовані на застосування методу побудови для оцінки загроз для штабів ДПСУ є методики, кортежів, метод аналізу ієрархій. Однак



постановка задач у цих методиках дещо різна. Тому рекомендується використовувати загальний підхід методології CIRAM 2.0, а для одержання вихідних даних застосовувати метод побудови кортежів. Сценарний метод реалізується серед методик, що розглядаються лише в методі аналізу ієрархій. Отже цей метод рекомендується для використання як доповнення до методики CIRAM 2.0.

Метод кортежів забезпечує адекватне відображення наявної інформації про обстановку та взаємозв'язки її параметрів, дозволяє використовувати її в подальшому для планування захисту державного кордону. Враховуючи багатовекторність, різну природу та розмірність оцінка ознак та факторів обстановки визначається експертним методом. Метод таксономії має обмежене застосування, оскільки не виконується обмеження щодо рівновагомості факторів обстановки.

В період планування захисту державного кордону обстановка розглядається як сукупність факторів, що є (може бути) на визначений момент часу в районі відповідальності і зумовлена певними явищами у якійсь суспільній сфері і виражена через систему кількісних та якісних характеристик, а також здатність частин та підрозділів своєчасно вплинути на динаміку розвитку цих явищ.

Оцінка сценаріїв розвитку обстановки на державному кордоні може бути вирішена методом аналізу ієрархій. При цьому на четвертому рівні формуються фактори (сценарії) обстановки, на третьому – показники дестабілізації обстановки, на другому – діючі дестабілізуючі сили, на першому – показник складності обстановки.

### Література

**1. Богданович В. Ю.** Основи державного управління забезпеченням обороноздатності України: теорія і практика: монографія / В. Ю. Богданович, М. Ф. Єжєєв, І. Ю. Свіда. – Львів : ЛІСВ, 2008. – 300 с. **2. Богданович В. Ю.** Теоретические основы анализа проблем национальной безопасности государства в военной сфере: монография / В. Ю. Богданович – К. : Основа, 2006. – 296 с. **3. Богданович В. Ю.** Методичний підхід до формалізації стратегічного планування у сфері державного управління забезпеченням національної безпеки держави України / В. Ю. Богданович, А. І. Семенченко // Вісн. НАДУ. – 2006. – № 4. – С. 9–13. **4. Горбулін В. П.** Методологічні засади розробки стратегії національної безпеки / В. П. Горбулін, А. Б. Качинський // Стратег. панорама. – 2004. – № 3. – С. 15–24. **5. Качинський А. Б.** Безпека, загрози і ризик: наукові концепції та математичні методи / А. Б. Качинський – К.: ІПНБ, 2004. – 472 с. **6. Телелим В. М.** Превентивна оборона як вид стратегічних дій / В. М. Телелим, Ю. Г. Даник, В. О. Чмельов // Наука і оборона. – 2008. – № 4. – С. 34–41. **7. Купрієнко Д. А.** Аналіз сучасних тенденцій розвитку системи управління прикордонною безпекою Європейського Союзу / Д. А. Купрієнко // Честь і закон. 2016. – № 1 (56). – С. 20–25. **8. Лобанов А. А.** Принципи стратегічного управління підготовкою держави до оборони / А. А. Лобанов, Ю. В. Пунда // Сучасні інформаційні технології у сфері

Визначення завдань захисту державного кордону ґрунтується на описі та оцінці стану обстановки на державному кордоні, визначенні рівня стабільності обстановки, обґрунтуванні необхідності застосування тих чи інших частин та підрозділів захисту державного кордону. Математичний апарат алгебри кортежів найбільш близько відповідає логіці оцінювання обстановки в органах охорони державного кордону.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, методологія оцінювання загроз CIRAM 2.0, яка використовується у ДПСУ, може бути доповнена методикою, що ґрунтується на застосуванні методу кортежів. Для реалізації методології оборонного планування на етапі оцінювання сценарію та ситуацій що їх складають рекомендується використовувати метод аналізу ієрархії.

У якості методів стратегічного аналізу для визначення напрямів розвитку частин та підрозділів ДПСУ, обґрунтування їх завдань адекватними методами є SWOT – аналіз та Q – аналіз, вхідні дані яких готуються з використанням методів кортежів, аналізу ієрархії та з використанням методології CIRAM 2.0.

В роботі органів управління ДПСУ рекомендується застосування методології комплексного використання військових і невійськових сил та засобів сектору безпеки і оборони для протидії сучасним загрозам воєнній безпеці України [17] та методології дослідження воєнної безпеки [18].

Подальшим дослідженням є провести аналіз наявних методик та моделей планування сил ДПСУ для участі у спільних діях складових сектору безпеки та оборони.

безпеки та оборони. – 2013. – № 1 (16). – С. 11–16. **9. Романченко І. С.** Метод обґрунтування завдань щодо безпекового супроводу реалізації національних інтересів у системі забезпечення національної безпеки / І. С. Романченко, В. Ю. Богданович, І. Ю. Свіда // Збірник наук. праць ЦНДІ ЗС України. – К., 2011. – № 1 (55). – С. 5–18. **10. Телелим В. М.** Планування сил для виконання бойових завдань у “гібридній війні” [Текст] / В. М. Телелим, Д. П. Музиченко, Ю. В. Пунда // Наука і оборона. – 2014. – № 3. – С. 30–35. **11. Серватюк В. М.** Основні підходи до оцінки регіональної стабільності у прикордонному просторі / В. М. Серватюк // 36. наук. пр. № 12. Ч. 2. – Хмельницький : НАПВУ, 2000. – С. 28–36. **12. Кириленко В. А.** Теоретичні основи інформаційно-аналітичного забезпечення процесів охорони державного кордону (у контексті національної безпеки України у прикордонній сфері): монографія / В. А. Кириленко, В. П. Городнов, М. М. Литвин, Д. В. Іщенко. – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2009. – 472 с. **13. Назаренко В. О.** Теорія і практика організації та здійснення прикордонного контролю (у контексті забезпечення національної безпеки України в прикордонній сфері): монографія / В. О. Назаренко, В. М. Серватюк, О. М. Ставицький – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2013. – 360 с. **14. Мисик А. Б.** Науково-методичний апарат обґрунтування застосування частин та підрозділів Державної прикордонної служби України

у територіальній обороні / І. С. Катеринчук, А. Б. Мисик // Сучасні інформаційні технології / голов. ред. Пермяков О. Ю. – Київ : Вид-во НАОУ ім. І. Черняхівського, 2017. – № 1 (28) – С. 81–85. **15. Мисик А. Б.** Методика прийняття рішень на застосування резервів при ускладненні обстановки / А. Б. Мисик, А. В. Братко // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : військові та технічні науки / голов. ред. Олексієнко Б. М. – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2016. – № 3 (69). – С. 91–102. **16. Городнов В. П.** Методика таксономічної оцінки ступеня впливу елементів фінансового забезпечення на показники

можливостей з виконання службово-бойових завдань з'єднаннями Національної гвардії України / В. П. Городнов, С. О. Павленко, В. В. Овчаренко // Честь і закон. – 2016. – №1 (56). – С. 60–66. **17. Богданович В. Ю.** Методологія комплексного використання військових і невійськових сил та засобів сектору безпеки і оборони для протидії сучасним загрозам воєнній безпеці України: монографія / В. Ю. Богданович, І. С. Романченко, І. Ю. Свида, А. М. Сиротенко. – Л.: НАСВ, 2019. – 268 с. **18. Богданович В. Ю.** Воєнна безпека України: методологія дослідження та шляхи забезпечення: монографія / В. Ю. Богданович. – Київ, 2003. – 322 с.

## АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО АППАРАТА ОЦЕНКИ УГРОЗ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГРАНИЦЫ

*Артем Владимирович Братко (кандидат военных наук, доцент)  
Анатолий Борисович Мысык (доктор военных наук, доцент)*

*Национальная академия государственной пограничной службы Украины имени Богдана Хмельницкого, Хмельницкий, Украина*

*Проанализировано существующий научно-методологический аппарат, разработанный в ведомствах сектора безопасности и обороны на предмет его применения в штабах органов управления Государственной пограничной службы Украины и исследовательских организациях. Методология оценки угроз CIRAM 2.0, которая используется в Государственной пограничной службе Украины, может быть дополнена методикой, основанной на применении метода кортежей. Для реализации методологии оборонного планирования, на этапе оценки сценария и ситуаций которые их составляют, рекомендуется использовать метод анализа иерархии. В качестве методов стратегического анализа для определения направлений развития частей и подразделений Государственной пограничной службы Украины, обоснование их задач, адекватными методами является SWOT - анализ и Q - анализ, входные данные которых готовятся с использованием методов кортежей, анализа иерархий и с использованием методологии CIRAM 2.0. В работе органов управления Государственной пограничной службы Украины рекомендуется применение методологии комплексного использования военных и невоенных сил и средств сектора безопасности и обороны для противодействия современным угрозам военной безопасности Украины и методологии исследования военной безопасности.*

*Ключевые слова:* методология; планирование действий; угрозы; Государственная пограничная служба Украины.

## ANALYSIS OF THE METHODOLOGICAL APPARATUS OF THREAT ASSESSMENT IN THE FIELD OF THE STATE BORDER SECURITY

*Artem Bratko (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)  
Anatoliy Mysyk (Doctor of Military Sciences, Associate Professor)*

*National academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, Khmelnytsky, Ukraine*

*The existing scientific and methodological apparatus, which was developed in the departments of the security and defense sector for its application in the headquarters of the State Border Guard Service of Ukraine and research organizations, is analyzed. The CIRAM 2.0 threat assessment methodology used by the State Border Guard Service of Ukraine may be supplemented by a methodology based on the application of the tuple method. To implement the defense planning methodology, at the stage of assessing the scenario and the situations that make them up, it is recommended to use the method of hierarchy analysis. As methods of strategic analysis for determining the directions of development of units and subdivisions of the State Border Guard Service of Ukraine, substantiation of their tasks, adequate methods are SWOT - analysis and Q - analysis, input data are prepared using tuple methods, hierarchy analysis and CIRAM 2.0 methodology. In the work of the governing bodies of the State Border Guard Service of Ukraine it is recommended to use the methodology of integrated use of military and non-military forces and means of the security and defense sector to counter modern threats to Ukraine's military security and military security research methodology.*

*Keywords:* methodology; action planning; threats; State Border Guard Service of Ukraine.

*Анатолій Іванович Міночкін (доктор технічних наук, професор)*

*Василь Вікторович Кузавков (доктор технічних наук, доцент)*

*Сергій Васильович Погребняк*

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

## ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СКЛАДОВИХ ВТОРИННИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ЗА ФІЗИКО-ХІМІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРАХ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Умови сьогодення та перспективи розвитку ЗС України вимагають підвищення надійності телекомунікаційного обладнання, як складової системи управління. Стан та умови існування власного військово-промислового комплексу, не дозволяють в повній мірі забезпечити війська достатньою кількістю нових зразків сучасного телекомунікаційного обладнання. Одним зі способів вирішувати поставлені завдання є продовження терміну експлуатації наявного телекомунікаційного обладнання. Це можливо реалізувати шляхом здійснення якісного, своєчасного та повного технічного обслуговування. Таким чином, важливим завданням існуючої системи технічного обслуговування та ремонту стає пошук нових та удосконалення існуючих методів визначення технічного стану телекомунікаційного обладнання, підвищення достовірності прогнозу його працездатності.

Виходячи зі сказаного в даній статті проаналізовано та узагальнено основні проблемні питання, які стосуються системи діагностування телекомунікаційного обладнання. Розглянуті особливості експлуатації вторинних джерел живлення сучасного телекомунікаційного обладнання подвійного призначення. Описано специфіку використання електролітичних конденсаторів у вторинних джерелах живлення сучасного телекомунікаційного обладнання подвійного призначення. Проведений порівняльний аналіз існуючих на теперішній час способів діагностування. Запропоновано альтернативну можливість визначення фактичного технічного стану зазначених елементів (без вилучення зі схеми) в реальному часі безконтактним індукційним методом спираючись на досліджені фізико-хімічні процеси в них.

**Ключові слова:** телекомунікаційне обладнання, вторинні джерела живлення, електролітичні конденсатори, фізико-хімічні процеси, безконтактний індукційний метод.

### Вступ

Важливим складовим елементом сучасності життя є телекомунікаційне устаткування та можливість постійно залишатись в інформаційному полі отримуючи, передаючи та обробляючи різноманітні види інформації. Не виключенням являється і військова сфера. Провідні країни світу розробляють єдині стандарти для систем зв'язку, розвідки, авіації, артилерії, застосування безпілотних літальних апаратів.

**Постановка проблеми.** Концепції створення та розвитку єдиної автоматизованої системи в Збройних Силах України (С4ISR) [1, 2] передбачає підвищення вимог до надійності телекомунікаційного обладнання. Оскільки сучасний стан військово-промислового комплексу не спроможний в повній мірі задовольнити потреби військ в сучасних засобах телекомунікаційного обладнання власного виробництва, а закупівля зразків іноземних виробників (в достатній кількості) передбачає значні фінансові затрати з боку держави, що на даний час економічно неприйнятно.

Вихід з ситуації, що склалася, можливий шляхом продовження терміну експлуатації наявних зразків телекомунікаційного обладнання. Як наслідок виникає необхідність розвитку та

удосконалення існуючої системи технічного обслуговування як складової системи управління, що в свою чергу вимагає розвитку існуючих та розробку нових методів визначення технічного стану об'єктів контролю (ОК). Існуюча на сьогодні система технічного обслуговування і ремонту (СТОiP) не в повній мірі відповідає вимогам сьогодення, оскільки не передбачає можливості автоматизації процесів визначення технічного стану та застосування методів фізичного діагностування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як показано в [3] методи фізичного діагностування можуть бути достатньо точними та надійними як для визначення технічного стану ОК так і для прогнозування часу їх функціонування. Переваги які надає автономна автоматизована система діагностування (ААСД) в комплексі з фізичними методами діагностування проаналізовані та розглянуті в низці робіт, зокрема в [4, 11, 12, 13].

Однак, на сьогоднішній день існує тенденція зниження якості і довговічності в роботі ОК у зв'язку з використанням виробниками більш дешевих і як наслідок менш надійних радіоелектронних компонентів. Крім того в сучасному телекомунікаційному обладнанні (СТКО) цивільних фірм не передбачено існування контрольних точок для здійснення діагностування,

а подекуди взагалі відсутній доступ до радіоелектронних компонентів в ОК.

Аналіз основних несправностей сучасного радіоелектронного озброєння розглянуті у [5] показав, що значна кількість випадків виходу з ладу ОК спричинена відхиленнями параметрів у вторинних джерелах живлення.

Прогнозування технічного стану за результатами методів фізичного діагностування, або ААСД на основі нейронних мереж [6] здатні попередити вихід устаткування з ладу або його критичну відмову.

Спираючись на викладене можна стверджувати про необхідність створення ААСД на основі нових методів визначення технічного стану ОК та нових діагностичних ознак, які б задовольняли вимогам сьогодення.

Одна із задач технічного діагностування – прогнозування технічного стану ОК. В свою чергу, прогноз не можливий без знання тренду змін діагностичних ознак. Розгляд способу отримання закону зміни діагностичної ознаки, яка відображує фізико-хімічні процеси старіння, найменш надійних компонентів СТКО і є **метою даної статті.**

### Виклад основного матеріалу дослідження

Як було відмічено, значну частину відмов у СТКО складають відмови через несправність вторинних джерел живлення [5]. Малонадійним елементом в них є електролітичні конденсатори, які застосовуються у фільтрах вхідних та вихідних ланцюгів. Використання безконтактного індукційного методу [14] за певними ознаками дозволяє розрізняти фактичний технічний стан не лише ОК (джерела живлення) цілком, але й окремих функціональних вузлів, які входять до його складу.

В статті розглядаються внутрішні процеси, які відбуваються в фільтруючих елементах, значна кількість яких присутня в сучасних імпульсних джерелах живлення – електролітичних алюмінієвих конденсаторах (далі – конденсатори). Розуміння зазначених процесів дає змогу визначити та використовувати під час діагностування нових непрямих діагностичних ознак.

Проблематиці виходу з ладу РЕК, основним причинам та передумовам, присвячено велика кількість статей. Однак питання діагностування та прогнозування виходу з ладу радіоелектронного устаткування (складових цього устаткування – конденсаторів) розглянуто недостатньо.

Ємність, як основна характеристика електролітичного конденсатора не є величина постійна і здатна змінюватися не лише під час експлуатації, а й під час зберігання. Контроль ємності окремих конденсаторів (поза межами схеми) не становить проблеми. Однак, контроль цього параметру в складі схеми, без вилучення, в реальному часі, безконтактними методами варто розглянути окремо. Фізико-хімічні процеси, які відбуваються в обраному об'єкті контролю знайшли своє відображення в непрямій

діагностичній ознаці, яка характеризує функціонування усього джерела живлення – зміна параметрів струму в ланцюгах живлення [14, 15]. Саме цей ДП відповідає умовам вимірюваності, інформативності та інваріантності і надає можливість підвищити достовірність та точність вирішення задач технічного діагностування.

В межах статті розглядаються основні фактори, які впливають на функціональність та термін «життя» конденсаторів, а також існуючі методи зменшення їх негативного впливу.

Одна з невід'ємних складових, яка супроводжує функціонування конденсаторів в фільтруючих ланцюгах – це термічні процеси. Під час експлуатації конденсатора температура в ньому підвищується у порівнянні з температурою навколишнього середовища. Це змушує шукати методи підвищення розсіювання тепла у зовнішнє середовище. Основними методами які застосовуються для відведення температури від конденсатора є: випромінювання тепла у зовнішнє середовище за рахунок більш теплопровідних покриттів (застосовують для великогабаритних конденсаторів) та конвекція (природна та з примусовим обдувом). Розрахунок потужності випромінювання тепла в зовнішнє середовище здійснюється по закону Стефана-Больцмана.

$$P_{RAD} = \varepsilon \sigma A \times (T_S^4 - T_A^4) = h_{RAD} \times A \times \Delta T \quad (1)$$

де  $\varepsilon = 0,85$  – коефіцієнт емісії,

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$  (Вт/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>)) – постійна Стефана-Больцмана;

$A$  – площа поверхні конденсатора без його основи;

$h_{RAD} = \varepsilon \sigma (T_S + T_A) \times (T_S^2 + T_A^2)$  – коефіцієнт передачі тепла;

$T_S$  – температура поверхні конденсатора;

$T_A$  – температура довколишнього середовища;

$\Delta T = T_S - T_A$  – різниця температур.

Для звичайної конвекції справедливим буде вираз:

$$P_{CONV} = h_{free} \times A \times \Delta T, \quad (2)$$

де  $h_{free} = 1,32 \times [\Delta T / D]^{1/4}$ ,  $D$ - діаметр циліндра конденсатора.

У випадку звичайної конвекції, сумісно з випромінюванням тепла з поверхні, показники тепловипромінювання складуть (Вт/м<sup>2</sup>К):

$$h_{tot} = h_{free} + h_{rad} = 13,5 - 17 \text{ (Вт/м}^2\text{К)},$$

а у випадку примусового охолодження повітряним потоком зі швидкістю  $v$  (м/с) значення екстрапольованого кінцевого коефіцієнту передачі теплової енергії можна виразити формулою [7].

$$h_{tot} = 5 + 17 \times (v + 0,1)^{0,66} \quad (3)$$

Застосування примусового повітряного охолодження зі швидкістю потоку 1-2 м/с підвищують теплову віддачу в навколишнє середовище на 30-40% в порівнянні з звичайною конвенцією. Однак забезпечити рівномірне охолодження всіх складових вторинного джерела живлення практично не можливо. Завжди

знайдеться елемент якій затулено від повітряного потоку, або якій підігривається іншим джерелом тепла. Відомо, що строк безвідмовної роботи залежить від температури навколишнього середовища за правилом "10 Кельвінів": зниження температури зовнішнього середовища на 10 К призводить до продовження терміну експлуатації вдвічі [9].

Інша складова процесу функціонування конденсатора – хімічні процеси в конденсаторах. На даний час електролітичні конденсатори різняться застосуванням в них найрізноманітніших хімічних складників та компонентів. Якість цих складових в свою чергу відображається на їх надійності. Важливим показником якості (стабільності) хімічних складників є строк придатності (термін старіння). На відміну від терміну зберігання який вказується для нормальних умов зберігання (температури, вологості, і т.п.) перевірка на строк придатності можливе лише при проведенні прискорених випробувань на старіння при максимально допустимих температурах і нульових значеннях прикладених напруг в продовж значного періоду часу. Оскільки до конденсатора в таких умовах не під'єднано до зовнішньої напруги то результати такого випробування відображають виключно максимально "критичний" результат. Основні параметри конденсатора (ємність, струм витоку, ESR, імпульсна напруга і т.д.) повинні залишатися в межах заданих показників відповідно до IEC/EN 60384-1:2016. Велике значення показників строку придатності відображає хімічну стабільність, яка отримана шляхом використання якісних матеріалів та дотримання технологій виробництва.

Таким чином, значний час ефективного функціонування можна отримати шляхом комбінованого підходу до оптимізації фізико-хімічних процесів, які відбуваються в конденсаторах під час їх експлуатації.

Обидва згаданих процеси обумовлюють надійність та довговічність конденсаторів. Здійснення достовірного та точного визначення технічного стану ОК потребує використання прогресивних методів фізичного діагностування, а «опорну» залежність зміни діагностичної ознаки надають прискорені випробування [10]. На сьогодні використовують ряд способів визначення надійності електролітичних конденсаторів: прискорені та експлуатаційні. Прискорені випробування поділяються на:

скорочені – проведені по скороченій програмі без інтенсифікації процесів, що викликають відмови або ушкодження;

форсовані – засновані на інтенсифікації процесів, які викликають відмови або ушкодження.

Головна вимога до прискорених випробувань, це автентичність процесів старіння та зношування в порівнянні з нормальними умовами експлуатації. У випадку дослідження конденсаторів, метою випробувань є знаходження (підтвердження) динаміки зміни ДП від часу, з максимально

можливим (з урахуванням збереження адекватності фізики процесів старіння) коефіцієнтом прискорення [16].

Існує декілька варіантів класифікації методів прискорених випробувань. Так, основні методи прискорених випробувань поділяються на: метод посилення режимів роботи; метод індивідуального прогнозування; метод посилення режимів роботи та індивідуального прогнозування [10].

В основу першого методу покладено створення режиму функціонування під впливом "стресу", еквівалентному такій зміні параметрів експлуатації, при якій підвищується швидкість протікання процесів зношування (старіння). Зовнішній вплив — це фактор, який прискорює процеси, та зміна якого, в порівнянні з режимом нормальної експлуатації, веде до підвищення інтенсивності процесів, що приводять до відмови (ушкодження).

Для підвищення швидкості природного старіння (швидкості зношування) можливо використовувати зміну параметрів які характеризують умови зовнішнього середовища, або режими роботи. Максимальні значення цих параметрів підвищуються до граничних величин, при яких ще зберігається нормальна робота ОК.

Перевагами методу є: отримання значного коефіцієнту прискорення ( $KП = 10^4 \dots 10^6$ ); наявність кількісної оцінки ступеня кореляції між значеннями ДП та параметрами швидкості протікання фізико-хімічних процесів в ОК; наявність кількісної оцінки основних показників надійності конденсаторів (ресурс, час напрацювання на відмову, ESR і т.д.).

Недоліком цього методу випробувань є: ймовірність непередбаченої зміни параметрів та властивостей ОК; зменшення чисельності вибірки з часом випробувань в наслідок їх відмови під дією факторів які прискорюють процес старіння.

Другий метод, передбачає припинення випробувань до настання відмови. На основі методів індивідуального прогнозування тенденцій розвитку процесів старіння та зношування визначається час відмови  $t_{від}$ . Сутність методу полягає в ідентифікації параметрів тренда, що характеризує зміну поточного значення параметру  $Y(t)$  у часі, з наступним прогнозуванням моменту часу  $t_{від}$ , що відповідає виходу параметру за межі припустимих значень  $G_{пр}$ .

Перевагами методу є можливість встановлення не тільки значення  $t_{від}$ , але і його довірчого інтервалу.

Основними недоліками методу є: апіорна невідомість виду трендів; труднощі визначення параметрів надійності; малі значення коефіцієнтів прискорення (у межах 2–3,5).

Третій метод випробувань полягає в спільному застосуванні першого та другого методів. Перевагами такого підходу є поєднання позитивних сторін попередніх методів.

Головним фактором змін основних параметрів конденсаторів є випаровування електроліту з часом. Це відбувається внаслідок не ідеальності (негерметичності) корпусу конденсатора та

внаслідок впливу високих температур протягом тривалу інтервалу часу.

Досягнення критичних значень протягом 2000 годин напрацювань при температурі 105 °C (рис 1) призводить до фактичного зношування конденсатора і виходу з ладу [8].

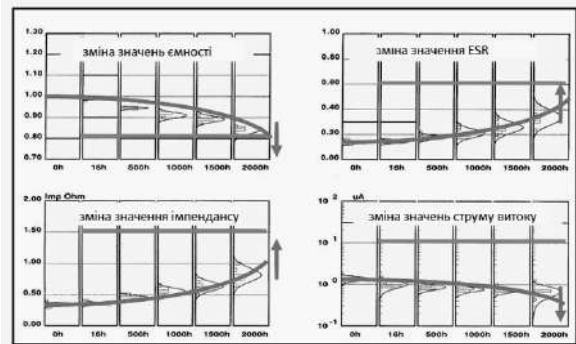


Рис. 1. Значення основних параметрів електролітичного конденсатора (час напрацюванні 2000 годин, T - 105°C).

Враховуючи, що найбільшу складність в завданні діагностування складає визначення технічного стану РЕК який працює під навантаженням в складі схеми ОК реєстрацію ДП доцільно здійснювати безконтактними методами, зокрема безконтактним індукційним методом [14]. При цьому параметром, який буде вказувати на справність ОК, буде виступати виміряне значення пульсації струму в ланцюгах вторинного джерела живлення .

Раніше, величину пульсації струму, який протікає через вихідний конденсатор, не вважали достатньо важливою. Причина полягає в тому, що це не мало суттєвого значення в лінійних стабілізаторах. Проте в сучасних імпульсних блоках живлення термін служби вихідного конденсатора обмежений несприятливими процесами, які виникають у випадку впливу пульсуючого струму. За своєю схемотехнікою в вихідних ланцюгах присутня складова обумовлена функціонуванням ШІМ контролера (частота комутації біля 16 КГц). На практиці виробники наводять допустимі значення коефіцієнта пульсації струму. Проте, під час функціонування ці значення можуть значно перевищувати нормовані показники. Завдання прогнозування полягає в тому, щоб встановити необхідний коефіцієнт при якому ці значення набувають критичних величин і свідчитимуть про вихід з ладу ОК найближчим часом.

На сьогодні доводиться користуватись емпіричним правилом, яке довело свою достовірність. Це правило засноване на логіці, та використовує наступні припущення: струм, що протікає в котушці індуктивності, має

пилкоподібну форму; лише цей струм створює пульсації, які впливають на вихідний конденсатор;

розмах цього пилкоподібного струму становить 20 відсотків від максимального постійного струму, який надходить в навантаження.

Ці припущення засновані на рекомендаціях з проектування та технічних завданнях. Як наслідок, струм пульсацій  $I_R$  у вихідному конденсаторі (його ефективне значення) можна визначити, скориставшись виразом:

$$I_R = 0,058 / I \quad (4)$$

Пульсації струму спричиняють нагрів конденсаторів, що призводить до зміни їх параметрів. Таким чином, значення величини пульсації струму можна використовувати як ДП при оцінці впливу на процеси, які протікають в конденсаторі.

Головним напрямком подальших наукових досліджень для вирішення проблеми надійності електролітичних конденсаторів у вторинних блоках живлення сучасного телекомунікаційного обладнання вважаємо пошуку більш хімічностійких сполук електролітів, матеріалів обкладинок та(або) в покращенні технології виготовлення корпусів електролітичних конденсаторів з використанням ущільнюючих компонентів. В напрямку діагностування та прогнозування перспективним напрямом слід вважати застосування безконтактного індукційного методу визначення фактичного технічного стану вторинних джерел живлення, що дасть змогу враховувати фізико-хімічні процеси в його РЕК та наслідки впливу зовнішніх факторів на них.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті розглянуто основні фактори, які впливають на фізико-хімічний склад, та як наслідок, на термін експлуатації електролітичних конденсаторів у вторинних джерелах живлення сучасного телекомунікаційного обладнання. А саме: описані основні проблеми, що виникають в процесі термічного впливу та хімічної нестабільності електролітичних конденсаторів. Проаналізовано та здійснено порівняння методів діагностування заснованих на проведенні прискорених випробувань для отримання опорного тренду зміни значень діагностичних параметрів, для прогнозування ступеню старіння (зношування) ОК та визначення терміну його подальшого використання. Запропоновано подальші напрямки наукових досліджень в даній предметній області, що слід зосередити на вдосконаленні безконтактного індукційного методу, шляхом використанням додаткових діагностичних ознак, таких як пульсації струму.

### Література

1. Артюх В.М. Современный этап разработки и строительства Единой автоматизированной системы управления Вооруженными Силами Украины / В. М. Артюх, В. К. Медведев // Оборонный вестник. – 2012. – № 1. – С. 15–24. – Режим доступа: [http://defpol.org.ua/site/files/OV\\_1\\_2012\\_rus.pdf](http://defpol.org.ua/site/files/OV_1_2012_rus.pdf)

2. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 травня 2016 року “Про Стратегічний оборонний бюлетень України” [Електронний ресурс]: указ [видано Президентом України 06 червня 2016 р. №240/2016]. 3. Сакович Л.М. Методика фізичного діагностування цифрових пристроїв об’єктів

радіоелектронної техніки / Л.М. Сакович, С.І. Глухов, О.С. Бабій, А.О.Гальоса // Системи озброєння і військова техніка, 2020, № 2(62). – С. 93-101. URL: <https://journal-hnups.com.ua/index.php/soivt/article/download/337/271/>

**4. Глухов С.І.** Методика діагностування цифрових пристроїв радіоелектронної техніки на основі методів фізичного діагностування та результатів прискорених випробувань // Збірник наукових праць військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка – К.: ВІКНУ 2019. – С. 12-18.  
**5. Погребняк С.В.** Аналіз основних несправностей новітнього радіоелектронного озброєння / С.В.Погребняк // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції НАСВ Львів. 2020. – С.164.  
**6. Погребняк С.В.** Проблематика діагностування новітніх систем телекомунікаційного обладнання/ С.В. Погребняк // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції Військового інституту телекомунікацій та інформатизації 2020. С.- 107.  
**7. Parler S.G.** Thermal Modeling of Aluminum Electrolytic Capacitors // IEEE Industry Applications Society Conference.1999.  
**8. Mirsky G.** Determining end-of-life, ESR, and lifetime calculations for electrolytic capacitors at higher temperatures. // EDN. 2008. August.  
**9. Parler S. G.** Deriving Life Multipliers for Aluminum Electrolytic Capacitors // IEEE Power Electronics Society Newsletter. 2004. Vol. 16, № 1.  
**10. Вишнівський В.В.** Аналіз методів форсованих випробувань для отримання залежності зміни діагностичного параметра від часу напрацювання напівпровідникових РЕК. / В.В.Вишнівський, В.В.Кузавков, В.В. Василенко. // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – №1. –

С.18 – 20.  
**11. Кузавков В.В.** Шляхи вдосконалення системи технічного обслуговування. / В.В. Кузавков, Г.І. Гайдур, Л.Т. Коваль // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2014. – №4. – С. 86 – 92.  
**12. Жердев М.К.** Аналіз стану системи відновлення технічних засобів радіоелектронного озброєння в зоні АТО. / М.К. Жердев, В.В. Кузавков, Є.В. Редзюк, К.О. Єфанова // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. – 2017. – №2. – С. 35 – 40.  
**13. Креденцер Б.П.** Методика оцінки ефективності застосування автономного автоматизованого пристрою діагностування параметрів в системі військового ремонту. / Б.П. Креденцер, М.К. Жердев, В.В. Кузавков // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. – 2016. – №1. – С. 81 – 86.  
**14. Вишнівський В.В.** Безконтактний індукційний метод діагностування радіоелектронних блоків. / В.В. Вишнівський, М.К. Жердев, Б.П. Креденцер, В.В. Кузавков, Є.В. Редзюк // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2013. – №43. – С. 17 – 23.  
**15. Кузавков В.В.** Застосування методу валеного випромінювання для технічної діагностики радіоелектронних блоків. / В.В. Кузавков, О.Г. Янковський // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2014. – №2. – С. 58 – 62.  
**16. Кузавков В.В.** Застосування методів форсованих випробувань для отримання залежності діагностичного параметра від часу напрацювання цифрових радіоелектронних компонентів. / Василь Кузавков, Євген Редзюк // Збірник НТУУ “КПІ”. – 2014. – С. 76 – 84.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СОСТАВНЫХ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ПО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРАХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Анатолій Іванович Миночкин (доктор технічних наук, професор)  
 Василий Викторович Кузавков (доктор технических наук, доцент)  
 Сергей Васильевич Погребняк*

*Военный институт телекоммуникации и информатизаций имени Героев Крут, Киев, Украина*

*Условия и перспективы развития ВС Украины требуют повышения надежности телекоммуникационного оборудования, как составляющей системы управления. Состояние и условия существования собственного военно-промышленного комплекса, не позволяют в полной мере обеспечить войска достаточным количеством новых образцов современного телекоммуникационного оборудования. Одним из способов решения поставленной задачи является продление срока эксплуатации имеющегося телекоммуникационного оборудования. Это возможно реализовать путем осуществления качественного, своевременного и полного технического обслуживания. Таким образом, важной задачей существующей системы технического обслуживания и ремонта становится поиск новых и совершенствование существующих методов определения технического состояния телекоммуникационного оборудования, повышение достоверности прогноза его работоспособности.*

*Исходя из сказанного, в данной статье проанализированы и обобщены основные проблемные вопросы, касающиеся системы диагностирования телекоммуникационного оборудования. Рассмотрены особенности эксплуатации вторичных источников питания современного телекоммуникационного оборудования двойного назначения. Описана специфика использования электролитических конденсаторов во вторичных источниках питания современного телекоммуникационного оборудования двойного назначения. Проведенный сравнительный анализ существующих в настоящее время способов диагностирования. Предложено альтернативную возможность определения фактического технического состояния указанных элементов (без исключения из схемы) в реальном времени бесконтактным индукционным методом, опираясь на исследованные физико-химические процессы в них.*

*Ключевые слова: телекоммуникационное оборудование, вторичные источники питания, электролитические конденсаторы, физико-химические процессы, бесконтактный индукционный метод.*

## DETERMINATION OF TECHNICAL CONDITION OF COMPONENTS OF SECONDARY POWER SUPPLIES BY PHYSICO-CHEMICAL PROCESSES IN ELECTROLYTIC CAPACITORS DURING OPERATION

*Anatolii Minochkin (Doctor of technical sciences, professor)*  
*Vasyl Kuzavkov (Doctor of technical sciences, associate professor)*  
*Serhii Pohrebniak*

*Military Institute of Telecommunications and Informatization named after the Heroes of Krut*

*The conditions modernity and prospects for the development of the Ukraine Forces requires increasing the reliability of telecommunications equipment as a component of the control system. The state and conditions of existence of own military-industrial complex do not allow to fully provide the troops with a sufficient number of new samples of modern telecommunications equipment. One of the solutions to this problem is to extend the service life of existing telecommunications equipment. This can be achieved by providing high-quality, timely and complete maintenance. Thus, an important task of the existing system of maintenance and repair becomes the search for new and improving existing methods for determining the technical condition of telecommunications equipment, increasing the reliability of the forecast of its efficiency.*

*Based on the above, this article analyzes and summarizes the main problematic issues related to the system of diagnostics of telecommunications equipment. The features of operation of secondary power sources of modern dual-purpose telecommunications equipment are considered. The specifics of the use of electrolytic capacitors in secondary power sources of modern dual-purpose telecommunications equipment are described. The comparative analysis of the currently existing methods of diagnosis was done. An alternative possibility of determining the actual technical condition of these elements (without withdrawal from the scheme) in real time by a non-contact induction method, based on the studied physico-chemical processes in them, is proposed.*

**Key words:** *telecommunications equipment, secondary power sources, electrolytic capacitors, physico-chemical process, non-contact induction method.*

### References

- Artyukh V.M.** Sovremennyy etap razrabotky y stroitel'stva Edynoy avtomatyzirovannoy systemy upravleniya Vooruzhennymy Sylamy Ukrainy / V. M. Artyukh, V. K. Medvedev // *Oboronnyy vestnyk*. – 2012. – № 1. – S. 15–24. – Rezhym dostupu: [http://defpol.org.ua/site/files/OV\\_1\\_2012\\_rus.pdf](http://defpol.org.ua/site/files/OV_1_2012_rus.pdf)
- Pro rishennya Rady natsional'noyi bezpeky i obrony Ukrainy vid 20 travnya 2016 roku "Pro Stratehichnyy oboronnyy byuleten' Ukrainy"** [Elektronnyy resurs]: ukaz [vydano Prezydentom Ukrainy 06 chervnya 2016 r. №240/2016]. Rezhym dostupu: <http://www.president.gov.ua/documents/2402016-20137>.
- Sakovych L.M.** Metodyka fizychnoho diahnostuvannya tsyfrovyykh prystroyiv ob'ektiv radioelektronnoyi tekhniki / L.M. Sakovych, S.I. Hlukhov, O.S. Babiy, A.O. Hal'osa // *Systemy ozbroynennya i viys'kova tekhnika*, 2020, № 2(62). – S. 93-101.
- Hlukhov S.I.** Metodyka diahnostuvannya tsyfrovyykh prystroyiv radioelektronnoyi tekhniki na osnovi metodiv fizychnoho diahnostuvannya ta rezul'tativ pryskorennykh vyprobuvan' // *Zbirnyk naukovykh prats' viys'kovoho instytutu Kyyiv's'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka* – K.: VIKNU 2019. – S. 12-18.
- Pohrebnyak S.V.** Analiz osnovnykh nespravnostey novitn'oho radioelektronnoho ozbroynennya / S.V. Pohrebnyak // *Zbirnyk tez dopovidey naukovopraktychnoyi konferentsiyi NASV L'viv*. 2020. – S.164.
- Pohrebnyak S.V.** Problematyka diahnostuvannya novitnikh system telekomunikatsiy noho obladnannya/ S.V. Pohrebnyak // *Zbirnyk tez dopovidey naukovopraktychnoyi konferentsiyi Viys'kovoho instytutu telekomunikatsiy ta informatyzatsiyi* 2020. S.- 107.
- Parler S.G.** Thermal Modeling of Aluminum Electrolytic Capacitors // *IEEE Industry Applications Society Conference*. 1999.
- Mirsky G.** Determining end-of-life, ESR, and lifetime calculations for electrolytic capacitors at higher temperatures. // *EDN*, 2008. August.
- Parler S. G.** Deriving Life Multipliers for Aluminum Electrolytic Capacitors // *IEEE Power Electronics Society Newsletter*. 2004. Vol. 16, № 1.
- Vyshniv's'kyi V.V.** Analiz metodiv forsovanykh vyprobuvan' dlya otrymannya zalezhnosti zminy diahnostychnoho parametra vid chasu napratsyuvannya napivprovodnykovykh REK. / V.V. Vyshniv's'kyi, V.V. Kuzavkov, V.V. Vasylenko. // *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku*. – 2015. – №1. – S.18 – 20.
- Kuzavkov V.V.** Shlyakhy vdoskonalennya systemy tekhnichnoho obsluhovuvannya. / V.V. Kuzavkov, H.I. Haydur, L.T. Koval' // *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku*. – 2014. – №4. – S. 86 – 92.
- Zherdyev M.K.** Analiz stanu systemy vidnovlennya tekhnichnykh zasobiv radioelektronnoho ozbroynennya v zoni ATO. / M.K. Zherdyev, V.V. Kuzavkov, YE.V. Redzyuk, K.O. Yefanova // *Zbirnyk naukovykh prats' Viys'kovoho instytutu telekomunikatsiy ta informatyzatsiyi*. – 2017. – №2. – S. 35 – 40.
- Kredentser B.P.** Metodyka otsinky efektyvnosti zastosuvannya avtonomnoho avtomatyzovanoho prystroyu diahnostuvannya parametriv v systemi viys'kovoho remontu. / B.P. Kredentser, M.K. Zherdyev, V.V. Kuzavkov // *Zbirnyk naukovykh prats' Viys'kovoho instytutu telekomunikatsiy ta informatyzatsiyi*. – 2016. – №1. – S. 81 – 86.
- Vyshniv's'kyi V.V.** Bezkontaktnyy induktsiynyy metod diahnostuvannya radioelektronnykh blokiv. / V.V. Vyshniv's'kyi, M.K. Zherdyev, B.P. Kredentser, V.V. Kuzavkov, YE.V. Redzyuk // *Zbirnyk naukovykh prats' Viys'kovoho instytutu Kyyiv's'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*. – 2013. – №43. – S. 17 – 23.
- Kuzavkov V.V.** Zastosuvannya metodu valsnoho vyprominyuvannya dlya tekhnichnoyi diahnostyky radioelektronnykh blokiv. / V.V. Kuzavkov, O.H. Yankov's'kyi // *Zbirnyk naukovykh prats' Odes'koyi derzhavnoyi akademiyi tekhnichnoho rehulyuvannya ta yakosti*. – 2014. – №2. – S. 58 – 62.
- Kuzavkov V.V.** Zastosuvannya metodiv forsovanykh vyprobuvan' dlya otrymannya zalezhnosti diahnostychnoho parametra vid chasu napratsyuvannya tsyfrovyykh radioelektronnykh komponentiv. / Vasyl' Kuzavkov, Yevhen Redzyuk // *Zbirnyk NTUU "KPI"*. – 2014. – S. 76 – 84.



## МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Реформування Збройних Сил України стосується усіх видів забезпечення, в тому числі й метрологічного забезпечення, роль якого з переходом сучасної армії на перспективні високоточні системи озброєння та військової техніки значно зростає.

В статті проаналізовані наукові роботи, спрямовані на розвиток військової метрології, та виявлено, що питання з оцінювання впливу метрологічного забезпечення на ефективність застосування озброєння та військової техніки висвітлені недостатньо.

Метою статті є розробка методики оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки.

Розроблено методику оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки шляхом побудови моделі експлуатації зразка озброєння та військової техніки з визначенням імовірності знаходження зразка в можливих станах, побудови моделі "зразок озброєння та військової техніки – засіб вимірювальної техніки" з визначенням можливої імовірності виконання зразком поставленого завдання після проведення метрологічного забезпечення, визначення показника ефективності проведення метрологічного забезпечення та розрахунку економічного коефіцієнта ефективності проведення метрологічного забезпечення.

Отримані результати дозволять аналізувати існуючі системи метрологічного забезпечення, визначити недоліки та шляхи їх усунення, синтезувати оптимальну систему метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки.

Запропонована методика оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки може бути корисною при проведенні метрологічної експертизи зразків озброєння та військової техніки, розробці методик, що дозволять визначити вплив метрологічного забезпечення на конкретні види озброєння та військової техніки та заходи з метрологічного забезпечення, що нададуть більш істотний внесок в підвищення ефективності застосування озброєння та військової техніки.

**Ключові слова:** озброєння та військова техніка, метрологічне забезпечення, засоби вимірювальної техніки, модель об'єкта і засоби вимірювань, показник, коефіцієнт економічної ефективності.

### Вступ

Наявні сучасні загрози та виклики національній безпеці України, а це, в першу чергу, загроза територіальної цілісності і триваюча "гібридна" війна Російської Федерації проти нашої країни, потребують удосконалення підходів до формування військово-технічної політики держави з урахуванням нагальної потреби в оновленні, модернізації існуючого і створенні перспективного озброєння та військової техніки (ОВТ) Збройних Сил С України (ЗС України).

Причинами такої необхідності є і те, що переважна більшість наявного ОВТ має тривалі строки перебування в експлуатації, моральне, технічне та фізичне старіння, технічні несправності, невідповідність сучасним потребам та вимогам [1].

**Постановка проблеми.** В умовах непорядкованості структурних змін в організаційно-штатних структурах на етапах реформування ЗС України, практичного

застосування ОВТ в районі проведення операції об'єднаних сил ЗС України на території Донецької та Луганської областей має місце вичерпання ресурсу ОВТ, що потребує, в свою чергу, систематизації заходів щодо підтримання їх боєздатності, боєготовності та виконання завдань за призначенням.

Вдосконалення існуючих і створення перспективних видів ОВТ, форм і способів ведення бойових дій ставить підтримку боєготовності і боєздатності військ (сил) в залежність від рівня метрологічного забезпечення (МлЗ) ОВТ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На даний час існують роботи, які мають теоретичну і практичну значимість для МлЗ експлуатації зразків ОВТ [2, 3]. Разом з тим аналіз вітчизняної і зарубіжної літератури показує, що питання дослідження впливу МлЗ на ефективність застосування ОВТ недостатньо вивчене.

У роботах [6, 7] наведені різні задачі оцінки

ефективності складних систем, придатних і для системи МлЗ зразків ОВТ. Однак вони враховують не матеріальний ефект (користь) від проведення МлЗ, а лише витрати на експлуатацію зразків ОВТ, не розглядають зразки ОВТ в комплексі з засобами виміральної техніки (ЗВТ), що застосовуються при МлЗ і не враховують метрологічну надійність ЗВТ. Тому зазначені оцінки ефективності не дозволяють з високою імовірністю говорити про якість проведення МлЗ. Отже, для оцінювання ефективності проведення МлЗ експлуатації зразків ОВТ слід врахувати метрологічну надійність ЗВТ і матеріальний ефект від застосування зразків ОВТ за призначенням на основі аналізу моделі системи “зразок ОВТ – ЗВТ”.

**Метою статті** є розробка методики оцінювання ефективності проведення МлЗ зразків ОВТ в процесі їх експлуатації.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Однією з основних цілей МлЗ є забезпечення ефективності застосування ОВТ. Досягнення даної мети можливо лише за умови успішного виконання певних заходів з МлЗ ОВТ на всіх стадіях життєвого циклу, починаючи від формування вихідних вимог до зразків і закінчуючи зняттям їх з експлуатації і списанням [2]. Порядок реалізації цих заходів приведений на рис. 1.



Рис. 1. Заходи з метрологічного забезпечення, що впливають на ефективність застосування озброєння та військової техніки.

Метою проведення МлЗ зразка ОВТ є знаходження обґрунтованої відповіді на питання щодо його справного стану і, відповідно, придатності до виконання поставлених перед ним

завдань. Однак не для всіх зразків ОВТ система МлЗ побудована оптимальним чином, в результаті чого вона може бути економічно не вигідною, якщо витрати на проведення МлЗ перевищують економічний ефект, отриманий від застосування зразка ОВТ за призначенням.

Тому необхідно отримати оцінки, що дозволяють проводити аналіз існуючих зразків ОВТ і синтезувати оптимальну систему МлЗ зразків ОВТ за певними комплексними показниками ефективності, зокрема за критерієм вартості [5].

Структурно-логічна схема запропонованої методики оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки приведена на рис. 2.

Слід зазначити, що вказана модель системи “зразок ОВТ – ЗВТ” є спрощеним представленням зразка ОВТ [6]. Вона відноситься до інформаційних моделей, тобто є сукупністю інформації, що характеризує істотні властивості зразка ОВТ. До істотних властивостей відносяться фізичні величини (параметри), які впливають на точність виконання зразком ОВТ завдань за призначенням. При цьому кожен параметр може приймати значення, обмежене метрологічними характеристиками засобів вимірювань. З усього переліку параметрів вибираються ті, які безпосередньо пов'язані з результатом застосування зразка ОВТ. Таким чином, при формуванні моделі “зразок ОВТ – ЗВТ” необхідно визначити параметри, що впливають на точність виконання зразком ОВТ завдання за призначенням.

Основна задача проведення МлЗ зразка ОВТ – підвищення достовірності того, що зразок ОВТ забезпечить виконання поставленого бойового завдання, тобто імовірність його справного стану після проведення МлЗ повинна бути більше, ніж до нього. Побудова математичної моделі експлуатації зразка ОВТ дозволяє визначити імовірність його знаходження в кожному з можливих станів, наприклад, в справному стані експлуатації або в стані експлуатації з прихованою відмовою [7]. Тоді без проведення МлЗ імовірність того, що зразок ОВТ перед застосуванням за призначенням буде справним, відповідає імовірності знаходження зразка в справному стані моделі експлуатації,  $P_C$ .

Визначимо імовірність справного стану зразка ОВТ після проведення МлЗ  $P_C^{MлЗ}$ , використовуючи модель “зразок ОВТ – ЗВТ”:

$$P_C^{MлЗ} = P_C [K_{ЗВТ} P_{ЗВТ} P_{MлЗ} + (1 - K_{ЗВТ} P_{ЗВТ} P_{MлЗ}) P_B] + (1 - P_C) P_B, \quad (1)$$

де:  $K_{ЗВТ}$  – нормований коефіцієнт, що характеризує метрологічну справність ЗВТ, зазвичай  $K_{ЗВТ} = 0,6 \dots 0,8$  [8];

$P_{ЗВТ}$  – імовірність справного стану ЗВТ;

$P_{MлЗ}$  – імовірність справного стану зразка ОВТ при проведенні МлЗ;

$P_B$  – імовірність відновлення несправного зразка ОВТ шляхом проведення регулювальних робіт або ремонту.

$$K_{МлЗ} = \frac{P_C^{МлЗ}}{P_C} = \frac{(P_C [K_{ЗВТ} P_{ЗВТ} P_{МлЗ} + (1 - K_{ЗВТ} P_{ЗВТ} P_{МлЗ}) P_i] + (1 - P_C) P_B)}{P_C}, \quad (2)$$

Особливістю отриманого виразу (2) є врахування метрологічної надійності ЗВТ, що застосовуються при МлЗ зразків ОВТ.

Очевидно, якщо  $K_{МлЗ} > 1$ , то проведення МлЗ підвищує достовірність справного стану зразка ОВТ і його параметри обрані правильно. При  $K_{МлЗ} < 1$  проведення МлЗ знижує імовірність справного стану зразка ОВТ і збільшує часові

з урахуванням виразу (1), введемо показник ефективності проведення МлЗ зразків ОВТ  $K_{МлЗ}$  у вигляді відношення:

витрати на його проведення. Тому необхідно змінити вимоги до системи МлЗ зразків ОВТ, наприклад, застосувати більш точні методи вимірювань або ЗВТ, оптимізувати періодичність проведення перевірки ЗВТ для підвищення його метрологічної надійності, застосувати більш ефективні методи при проведенні відновлення несправних зразків ОВТ.

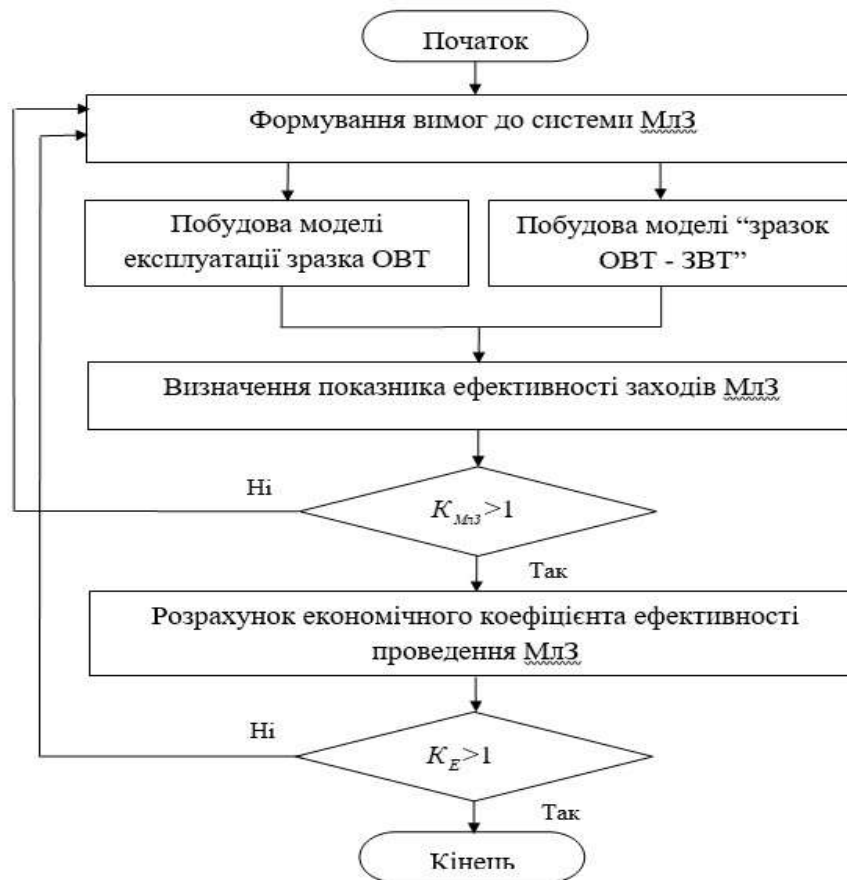


Рис. 2. Структурно-логічна схема методики оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки

Відмова від проведення МлЗ може привести до того, що до експлуатації буде допущений несправний зразок ОВТ, а отже, буде завдано певної матеріальної шкоди. З іншого боку, відмова від проведення МлЗ зменшує вартість експлуатації зразка ОВТ на величину, яка визначається витратами на проведення його МлЗ.

Введемо коефіцієнт економічної ефективності проведення МлЗ:

$$K_E = \frac{C_E}{C_E^{МлЗ}},$$

де:  $C_E$ ,  $C_E^{МлЗ}$  – витрати при застосуванні зразка

ОВТ за призначенням без проведення МлЗ і при його проведенні відповідно.

При  $K_E > 1$  витрати при застосуванні зразка ОВТ за призначенням більше витрат на проведення МлЗ і воно економічно доцільне, а якщо  $K_E < 1$ , то необхідно переглянути економічні вимоги до системи МлЗ, тобто зменшити вартість проведення метрологічних операцій.

Визначимо значення функцій економічного ефекту  $C_E^{МлЗ}$ ,  $C_E$ .

Функцію економічного ефекту від застосування зразка ОВТ за призначенням  $C_{EФ}$  представимо у вигляді:

$$C_{EF} = K_{OBT}C^+ - (1 - K_{OBT})C^- - C_{OBT}, \quad (3)$$

де:  $C^+$  – вартість економічного ефекту (користі), як результату застосування зразка ОВТ за призначенням, грн.;

$C^-$  – вартість завданого матеріального збитку при відмові від проведення метрологічних операцій (вартість експлуатації несправного зразка), грн.;

$C_{OBT}$  – величина, що визначає сумарні витрати на експлуатацію зразків ОВТ, грн.;

$K_{OBT}$  – коефіцієнт, який враховує факт виконання зразком ОВТ поставленої перед ним задачі і залежить від параметрів експлуатації зразка ОВТ.

Розглянемо граничні умови для виразу (3).

При  $K_{OBT} = 1$ , вираз (3) буде мати вигляд:

$$C_{EF} = C^+ - C_{OBT},$$

тобто при виконанні зразком ОВТ поставленого завдання функція економічного ефекту представляє економічний ефект (користь) від його застосування за призначенням, виключаючи витрати на експлуатацію зразка ОВТ.

При  $K_{OBT} = 0$ , вираз (3) буде мати вигляд:

$$C_{EF} = -C^- - C_{OBT},$$

де знак “мінус” показує, що при невиконанні зразком ОВТ поставленого завдання шкода складе величину матеріальних втрат, пов'язаних з невиконанням зразка поставленого завдання і витрат на його експлуатацію.

Визначимо значення коефіцієнта  $K_{OBT}$  при проведенні МлЗ зразків ОВТ  $K_{OBT}^{МлЗ}$  і без його проведення  $K_{OBT}$  відповідно:

$$K_{OBT}^{МлЗ} = P_C^{МлЗ} K_{\Pi} K_{\Phi}, \quad (4)$$

$$K_{OBT} = P_C K_{\Pi} K_{\Phi}, \quad (5)$$

$$C_{EF}^{МлЗ} = P^{МлЗ} K_{\Pi} K_{\Phi} C^+ - (1 - P_C^{МлЗ} K_{\Pi} K_{\Phi}) C^- - (C_{OBT} - C_{МлЗ});$$

$$C_{EF} = K_{OBT} C^+ - (1 - K_{OBT}) C^- - C_{OBT} = P_C K_{\Pi} K_{\Phi} C^+ - (1 - P_C K_{\Pi} K_{\Phi}) C^- - C_{OBT}.$$

Підставивши ці співвідношення в формулу (3), маємо:

$$K_{EF} = \frac{P^{МлЗ} K_{\Pi} K_{\Phi} C^+ - (1 - P_C^{МлЗ} K_{\Pi} K_{\Phi}) C^- - (C_{OBT} - C_{МлЗ})}{P_C K_{\Pi} K_{\Phi} C^+ - (1 - P_C K_{\Pi} K_{\Phi}) C^- - C_{OBT}}, \quad (7)$$

Спростивши цю формулу і використовуючи вираз (2), отримаємо умову для синтезу оптимальної системи МлЗ зразка ОВТ в процесі його експлуатації:

$$\frac{C^+ + C^-}{C_{МлЗ}} > \frac{1}{(P_C^{МлЗ} - P_C) K_{\Pi} K_{\Phi}}$$

Так як імовірності  $P_C^{МлЗ}$ ,  $P_C$  і значення коефіцієнтів  $K_{\Pi}$ ,  $K_{\Phi}$  можуть набувати значень в діапазоні  $[0,1]$ , то:

де:  $K_{\Pi}$ ,  $K_{\Phi}$  – числові коефіцієнти, що визначають рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу зразка ОВТ і рівень впливу зовнішніх факторів на застосування зразка ОВТ за призначенням відповідно (змінюються в діапазоні від 0 до 1 і визначаються на підставі даних, отриманих методом експертних оцінок).

Витрати на експлуатацію зразка ОВТ пропонується визначати, як сумарні витрати на його перебування в станах моделі експлуатації та на переходи між ними і розраховувати за допомогою виразу:

$$C_{OBT} = \sum_{i=1}^N C_i P_i(X) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} P_i P_{ij}(X), \quad (6)$$

де:  $C_i$ ,  $C_{ij}$  – грошові затрати на експлуатацію зразка ОВТ відповідно при перебуванні його в  $i$ -му стані,  $i = \overline{1, N}$ , і при переході з  $i$ -го стану в  $j$ -ий стан,  $j = \overline{1, N}$ ;

$N$  – число станів моделі експлуатації зразка ОВТ, що розглядається;

$X$  – вектор параметрів експлуатації зразка ОВТ (наприклад, періодичність проведення МлЗ, напрацювання на відмову);

$P_i$  – імовірність перебування зразка ОВТ в  $i$ -му стані;

$P_{ij}$  – імовірність переходів зразка ОВТ з  $i$ -го стану в  $j$ -ий стан.

Імовірності тісно пов'язані з вектором параметрів  $X$ , тому отримана функція (6) залежить від параметрів процесу експлуатації зразка ОВТ, в тому числі і від параметрів МлЗ (наприклад, чим менше періодичність перевірки об'єкта, тим більше витрати на його обслуговування тощо).

З урахуванням виразів (3)–(5) функції економічного ефекту при проведенні МлЗ і без нього відповідно запишемо у вигляді:

$$\frac{(C^+ + C^-)}{C_{МлЗ}} > 1 \quad (8)$$

З нерівності (8) видно, що система МлЗ зразка ОВТ побудована вірно тільки тоді, коли економічний ефект від застосування зразка ОВТ за призначенням більше витрат на проведення МлЗ. У цьому випадку проведення МлЗ зразка ОВТ економічно доцільно, в протилежному випадку система МлЗ зразка ОВТ побудована не оптимально.

Використовуючи отримані результати, пропонується методика оцінювання ефективності проведення МлЗ зразка ОВТ в процесі його експлуатації, яка складається з наступних етапів:

1. Формування вимог до системи МлЗ;

2. Побудова моделі експлуатації зразка ОВТ і визначення імовірності знаходження зразка в можливих станах;

3. Побудова моделі “зразок ОВТ - ЗВТ” та визначення можливої імовірності виконання зразком ОВТ поставленого завдання після проведення МлЗ;

4. Визначення показника ефективності проведення МлЗ і перевірка виконання умови (2):

а) якщо умова (2) не виконується, то необхідно, змінюючи параметри системи МлЗ зразка ОВТ, домогтися того, щоб показник ефективності був більше 1;

б) якщо умова (2) виконується, переходимо до наступного етапу.

5. Розрахунок економічного коефіцієнта ефективності проведення МлЗ за формулою (7) і перевірка виконання умови (8):

а) якщо умова (8) виконується, то вибрані економічні параметри системи МлЗ зразка ОВТ задовольняють;

б) при невиконанні умови (8) необхідно, змінюючи економічні параметри системи МлЗ зразка ОВТ і скорочуючи витрати на проведення

МлЗ, вибрати їх такими, при яких виконується умова (8).

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, запропонована методика оцінювання ефективності проведення МлЗ зразків ОВТ в процесі експлуатації, дозволяє оцінити вплив МлЗ на ефективність застосування ОВТ. Отримані результати дозволяють аналізувати існуючі системи МлЗ зразків ОВТ, визначати їх недоліки та шляхи усунення, синтезувати оптимальну систему МлЗ зразків ОВТ.

Запропонована методика оцінювання ефективності метрологічного забезпечення експлуатації озброєння та військової техніки може бути корисною при проведенні метрологічної експертизи зразків ОВТ. При цьому зазначена методика створює методичну основу для розробки методик, що дозволяють визначати вплив МлЗ на конкретні види ОВТ, та визначати заходи МлЗ, які надають більш істотний внесок в ефективність застосування ОВТ.

### Література

1. Про схвалення Основних напрямів розвитку озброєння та військової техніки на довгостроковий період : розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 червня 2017 року № 398-р. [Електронний ресурс]: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/398-2017-p#Text>.  
2. Емельянов А.А. Метрологическое обеспечение вооружения и военной техники / Емельянов А.А., Привознов Л.К., Шишов Н.Н. — Харьков: ВИРТА, 1985. — 338 с.  
3. Сычѳв Е.И. Основы метрологии военной техники / Сычѳв Е.И., Храменков В.Н., Шкитин А.Д. — М.: Министерство обороны, 1993. — 396 с.  
4. Шерстобитов С.А. Методика формирования требований к системе контроля функционирования автоматизированного места по проверке средств

измерений / С. А. Шерстобитов // Информатика и системы управления. — 2017. — № 1 (51). — С. 95–99.  
5. Чуев Ю.В. Технические задачи исследования операций / Ю. В. Чуев, Г. П. Спехова — М.: Советское радио, 1971. — 244 с.  
6. Барзилович Е. Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Барзилович Е. Ю. — М: Высшая школа, 1982. — 232 с.  
7. Крещук В.В. Метрологическое обеспечение эксплуатации сложных изделий / Крещук В.В. — М.: Издательство стандартов, 1989. — 200 с.  
8. Фридман А.Э. Теория метрологической надежности средств измерений / А.Э. Фридман // Измерительная техника. — 1991. — № 11. — С. 3-10.

## МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОРУЖИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

Николай Викторович Швец

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

*Реформирование Вооруженных Сил Украины касается всех видов обеспечения, в том числе и метрологического обеспечения, роль которого с переходом современной армии на перспективные высокоточные системы вооружения и военной техники значительно возрастает.*

*В статье проанализированы научные работы, направленные на развитие военной метрологии, и выявлено, что вопросы по оценке влияния метрологического обеспечения на эффективность применения вооружения и военной техники освещены недостаточно.*

*Целью статьи является разработка методики оценки эффективности метрологического обеспечения эксплуатации вооружения и военной техники.*

*Разработана методика оценки эффективности метрологического обеспечения эксплуатации вооружения и военной техники путем построения модели эксплуатации образца вооружения и военной техники с определением вероятности нахождения образца в возможных состояниях, построения модели "образец вооружения и военной техники - средство измерительной техники" с определением возможной вероятности выполнения образцом поставленной задачи после проведения метрологического обеспечения, определения показателя эффективности проведения метрологического*

обеспечения и расчета экономического коэффициента эффективности проведения метрологического обеспечения.

Полученные результаты позволят анализировать существующие системы метрологического обеспечения, определять недостатки и пути их устранения, синтезировать оптимальную систему метрологического обеспечения эксплуатации вооружения и военной техники.

Предложенная методика оценки эффективности метрологического обеспечения эксплуатации вооружения и военной техники может быть полезной при проведении метрологической экспертизы образцов вооружения и военной техники, разработке методик, которые позволят определять влияние метрологического обеспечения на конкретные виды вооружения и военной техники и мероприятия по метрологическому обеспечению, которые предоставят более существенный вклад в повышение эффективности применения вооружения и военной техники.

**Ключевые слова:** вооружение и военная техника, метрологическое обеспечение, средства измерительной техники, модель объекта и средства измерений, показатель, коэффициент экономической эффективности.

## METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF METROLOGICAL SUPPORT OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT OPERATION

*Mykola Shvets*

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

Reforming the Armed Forces of Ukraine concerns all types of support, including metrological support, the role of which is increasing significantly with the transition of the modern army to promising high-precision weapons systems and military equipment.

Scientific works aimed at the development of military metrology were analyzed in the article and it was revealed that the issue of assessing the impact of metrological support on the effectiveness of weapons and military equipment was insufficiently covered.

The purpose of the article is to develop a methodology for assessing the effectiveness of metrological support of weapons and military equipment operation.

A methodology for assessing the effectiveness of metrological support of weapons and military equipment operation has been developed by building a model of weapon and military equipment operation with determination of the probability of finding the sample in possible states, building a model "weapons and military equipment sample - measuring equipment means" with determination of the possible probability of the sample performing the assigned task after metrological support, determination of the metrological support effectiveness indicator and calculation of the economic efficiency coefficient of metrological support.

The obtained results will allow to analyze the existing metrological support systems, to determine the weaknesses and ways to eliminate them, to synthesize an optimal system of metrological support for the weapons and military equipment operation.

The proposed methodology for assessing the effectiveness of metrological support for the weapons and military equipment operation may be useful in conducting metrological examination of weapons and military equipment, developing techniques that will determine the impact of metrological support for specific types of weapons and military equipment and metrological assessments that will provide more substantial contribution to increasing the efficiency of weapons and military equipment.

**Key words:** weapons and military equipment, metrological support, measuring equipment means, model of object and measurement tools, indicator, economic efficiency coefficient.

### References

1. Pro shvalennya Osnovnih napryamiv rozvitu ozbroEnnyia ta vlyskovoYi tehniky na dovgostrokoviyy period : rozporiadzhennya Kabinetu Ministriv UkraYini vid 14 chervnya 2017 roku № 398-r. [Elektronniy resurs]: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/398-2017-r#Text>.
2. Emelyanov A.A. Metrologicheskoe obespechenie vooruzheniya i voennoy tehniki / Emelyanov A.A., Privoznov L.K., Shishov N.N. — Harkov: VIRTА, 1985. — 338 s.
3. SyichYov E.I. Osnovyi metrologii voennoy tehniki / SyichYov E.I., Hramenkov V.N., Shkitin A.D. — M.: Ministerstvo oborony, 1993. — 396 s.
4. Sherstobitov S. A. Metodika formirovaniya trebovaniy k sisteme kontrolya funktsionirovaniya avtomatizirovannogo mesta po poverke sredstv izmereniy / S. A. Sherstobitov // Informatika i sistemy upravleniya. — 2017. — № 1 (51). — S. 95–99.
5. Chuev Yu.V. Tehnicheskie zadachi issledovaniya operatsiy / Yu. V.Chuev, G. P. Spehova.— M. : Sovetskoe radio, 1971. — 244 s.
6. Barzilovich E. Yu. Modeli tehničkog obsluzhivaniya slozhnyih sistem / Barzilovich E. Yu. — M: Vysshaya shkola, 1982. — 232 s.
7. Kreschuk V.V. Metrologicheskoe obespechenie ekspluatatsii slozhnyih izdeliy / Kreschuk V.V. — M.: Izdatelstvo standartov, 1989. — 200 s.
8. Fridman A.E. Teoriya metrologicheskoy nadezhnosti sredstv izmereniy / A.E. Fridman // Izmeritelnaya tehnika. — 1991. — № 11. — S. 3-10.

*Володимир Семенович Кивлюк (кандидат економічних наук, доцент)*

*Віктор Іванович Лазоренко (кандидат військових наук, доцент)*

*Юрій Олександрович Ганненко*

*Михайло Петрович Лаврук*

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

## ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬКОВИМ МАЙНОМ ВІЙСЬК (СИЛ) ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

*У статті на основі проведеного аналізу забезпечення військ (сил) Збройних Сил України на сучасному етапі розвитку визначені основні проблеми логістики як органу управління системою забезпечення військовим майном військ (сил) Збройних Сил України та пропонуються шляхи їх вирішення.*

*Розглядаються питання використання єдиних термінів та понять щодо забезпечення сил оборони в мирний час та особливий період. Автори визначають одну з головних проблем - це створення ефективної системи забезпечення сил оборони України, яка спроможна здійснювати планування та управління процесами забезпечення військ (сил) військовим майном як у мирний час, так і в особливий період та буде сумісною із системою НАТО.*

*Єдине ефективне функціонування системи забезпечення військовим майном військ (сил) Збройних Сил України становить актуальне завдання для органів військового управління, які організують забезпечення Збройних Сил України.*

*Створення системи забезпечення військовим майном військ (сил) Збройних Сил України, як системи управління матеріальними потоками висуває завдання щодо об'єднання в єдину систему існуючих видів тилового та технічного забезпечення, наближаючи їх до стандартів НАТО.*

*Система забезпечення розглядається, як методологія розробки раціональних методів управління забезпеченням військовим майном військ (сил) Збройних Сил України, направлених на оптимізацію, з мінімальними затратами трудових і матеріальних ресурсів.*

*Наприкінці сформульовані напрямки подальших досліджень щодо удосконалення системи забезпечення сил оборони України.*

**Ключові слова:** *військове майно, інформаційна система, логістика, логістична система, матеріальні засоби.*

### Вступ

В умовах коли Україна здійснює оборонну реформу з метою набуття та підтримання необхідного рівня оборонних спроможностей, ефективного реагування на загрози та виклики національній безпеці, особлива увага повинна приділятися удосконаленню управління системами забезпечення військ (сил) та її сумісності з державами членів НАТО та ЄС.

Очікуваним результатом оборонної реформи є створення майбутніх сил оборони. Для досягнення мети оборонної реформи необхідно досягнути ряд цілей та виконати ряд завдань, які визначені у доктринальних документах розвитку сил оборони України. Одним з таких завдань є створення системи управління забезпеченням військовим майном військ (сил), яка відповідає стандартам, доктринам і рекомендаціям НАТО.

**Постановка проблеми.** Існуючий стан системи забезпечення військ (сил) Збройних Сил України

військовим майном та послугами вимагає проведення невідкладних заходів щодо її вдосконалення та приведення у відповідність до сучасних вимог. Відсутність науково-методологічної основи її вдосконалення на сучасному етапі розвитку ЗС України призводить до суперечності в задоволенні їх потреб наявними силами і засобами у існуючих умовах.

Під час реформування Збройних Сил України не визначена чітка вертикаль управління видами забезпечення, розподілу повноважень та відповідальності між органами військового управління усіх рівнів.

Створена організаційно-штатна структура, що функціонує в даний час не відповідає сучасним вимогам щодо повного задоволення потреб воєнної організації держави в особливий період (воєнний час).

Забезпечувальні структури, які існують у Міністерстві оборони і Генеральному штабі ЗС

України розбалансовані за підлеглістю і не трансформуються в єдину логістичну систему забезпечення військовим майном збройних формувань держави в особливий період (воєнний час).

Зазначені недоліки стримують практичне впровадження сучасних методів, моделей, методик планування та управління системою забезпечення військовим майном військ (сил), не сприяють підвищенню її ефективності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останні роки з'явилося дуже багато матеріалів в інтернеті та керівних документах (доктринальних) розвитку сил оборони [1-9] щодо запровадження логістики в Збройних Силах України.

Так, вагомий внесок у розвиток впровадження та застосування логістичного підходу внесли керівні документи [1,2]. У них обґрунтована необхідність створення та використання для підвищення ефективності забезпечення військ (сил) військовим майном логістичної системи.

У наукових статтях [10,11] автори зробили спробу та запропонували удосконалення системи тилового, технічного та медичного забезпечення Збройних Сил України із створення єдиної ефективної системи логістики Збройних Сил України, як системи управління матеріальними, інформаційними і людськими потоками на основі їх оптимізації.

**Метою статті** є визначення основних проблем застосування логістики як органу управління системою забезпечення військовим майном військ (сил) України та запропонувати шляхи їх вирішення.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Перш ніж розглядати шляхи удосконалення управління системою забезпечення військ (сил) Збройних Сил України військовим майном та послугами необхідно визначитись щодо плумачення деяких термінів, а саме в таких поняттях, як "логістична система", "військове майно", "матеріальні засоби", "матеріально-технічні засоби".

Логістична система – це організаційно-господарський механізм управління матеріальними та інформаційними потоками. Вона включає матеріальні засоби, що забезпечують рух товарів по логістичному ланцюгу (склади, вантажно-розвантажувальні механізми, транспортні засоби), виробничі запаси та засоби управління усіма ланками ланцюга [12,13].

Відповідно керівних документів Збройних Сил України [1,2], логістична система – це сукупність взаємозв'язаних, узгоджених за завданнями органів управління, сил і засобів забезпечення матеріальними засобами та послугами (тилу), транспортних комунікацій та визначений порядок виконання заходів з забезпечення військ (сил).

В законах України, постановках Кабінету Міністрів України та інших керівних

(доктринальних) документах і настановах [1-7], при плануванні та забезпечення військ (сил) ці всі поняття застосовуються. Проведений аналіз показує, що у законодавчій базі та керівних документах Збройних Сил України до цього часу немає прийнятого єдиного терміну, який повинен застосовуватись. Так, при розгляді логістичної системи в забезпеченні військ (сил) Збройних Сил України військовим майном та послугами необхідно використовувати єдиний термін, це – "військове майно".

Військове майно – це державне майно, закріплене за військовими частинами, закладами, установами та організаціями Збройних Сил України. До військового майна належать будинки, споруди, передавальні пристрої, всі види озброєння, бойова та інша техніка, боеприпаси, пально-мастильні матеріали, продовольство, технічне, аеродромне, шкіперське, речове, культурно-просвітницьке, медичне, ветеринарне, побутове, хімічне, інженерне майно, майно зв'язку тощо. Міністерство оборони України здійснює управління військовим майном, у тому числі закріплює військове майно за військовими частинами (у разі їх формування, переформування), приймає рішення щодо перерозподілу цього майна між військовими частинами, в тому числі у разі їх розформування. Військове майно закріплюється за військовими частинами Збройних Сил України на праві оперативного управління [2,8,9].

Аналіз сутності поняття військове майно показує, що необхідно розрізняти нерухоме військове майно у вигляді будинків, споруд та різних об'єктів розміщених на землі, а також рухоме військове майно, яке здатне переміщуватися (перевозитись). Так, рухоме військове майно – це матеріальні засоби (боеприпаси, пально-мастильні матеріали, продовольство, технічне, аеродромне, шкіперське, речове, культурно-просвітницьке, медичне, ветеринарне, побутове, хімічне, інженерне майно, майно зв'язку тощо) які підвозяться (подаються) військам (силам). При забезпеченні військ (сил) військовим майном необхідно враховувати те, що істотно змінилися види, способи і форми військових дій. При цьому основними способами розгрому противника в операціях (бойових діях) стали: в умовах застосування тільки звичайної зброї - послідовна вогняна поразка і знищення основних угруповань військ першого, другого ешелонів і резервів противника з рішучим наступом своїх військ і оволодінням територією агресора до встановлених рубежів. Набагато збільшилися розмах і динамічність операцій (бойових дій).

Револьюційні перетворення в корінних питаннях військової справи привели до значних змін умов забезпечення військ (сил) військовим майном та послугами в операціях (бойових діях). Перш за все, відбулося багатократне збільшення обсягу завдань щодо забезпечення військ (сил)



військовим майном. Так, для проведення сучасної оборонної операції оперативного угруповання військ необхідно боєприпасів в 6-8 разів, а пального в 8-10 раз більше, ніж це було в подібних операціях періоду другої світової війни. Розширилися потреби також в ракетно-артилерійському, інженерному, хімічному та іншому військовому майні.

У зв'язку з подальшим розвитком озброєння та військової техніки (ОВТ), появою високоточної зброї (ВТЗ), зброї на нових фізичних принципах, а також зміною способів підготовки і ведення операцій (бойових дій), умови забезпечення військ (сил) військовим майном та послугами різко ускладнюються та збільшується їх обсяг. Все це вимагає збільшення складу і можливостей сил і засобів забезпечення військовим майном та послугами і дослідження найбільш ефективних способів їх використання. Проте, не дивлячись на кількісні і якісні зміни, що відбулися, принципові положення щодо забезпечення військ (сил) військовим майном та послугами залишаються в силі і в сучасних умовах. У своїй основі вони є частиною загальних принципів тилового забезпечення військ (сил) в минулих війнах.

До основних таких принципів відносяться:

централізація управління для досягнення ефективного виконання завдань щодо забезпечення потреб Збройних Сил України, з урахуванням їх спроможностей, а також ефективного використання наявних ресурсів;

пріоритетність та достатність забезпечення для безперервного і повного задоволення потреб Збройних Сил України у військовому майні та послугах, а також спрямування основних зусиль забезпечення на пріоритетних завданнях, які виконуються силами оборони під час їх застосування;

ефективність використання отриманого військового майна, об'єктів інфраструктури;

гнучкість процесів забезпечення, для підтримання їх функціонування за принципом дії на випередження зі здатністю до адаптації та швидкого реагування на обставини, що змінюються;

стійкість в організації забезпечення, що повинна передбачати заходи, які спрямовані на мінімізацію втрат виділених ресурсів від впливу певних факторів (зовнішніх і внутрішніх, позитивних і негативних), а у ході ведення операцій (бойових дій) – від впливу противника;

прозорість процесів забезпечення, для забезпечення обміну достовірною інформацією щодо потреб та наявності запасів військового майна, з урахуванням забезпечення захисту інформації з обмеженням доступом;

взаємодія та координація дій між складовими силами оборони та центральними (місцевими) органами виконавчої влади, іншими державними органами, органами місцевого самоврядування, підприємствами оборонно-промислового комплексу, іншими підприємствами, установами

та організаціями незалежно від форми власності з питань забезпечення під час підготовки Збройних Сил України та в ході їх застосування;

відповідальність Збройних Сил України за виконання головної ролі у забезпеченні військовим майном та послугами застосування сил оборони та спільна відповідальність центральних органів виконавчої влади, інших державних органів за забезпечення потреб сил оборони у необхідних силах, засобах та ресурсах;

функціональна сумісність організаційних структур забезпечення Збройних Сил України та можливість інтеграції логістичної системи забезпечення Збройних Сил України або окремих її елементів під час спільних операцій зі збройними силами країн-членів НАТО.

Якщо під змістом удосконалення управління системою забезпечення розуміти її кінцеву мету, то відносно логістики мова повинна йти про набуття Збройними Силами України таких якостей, які забезпечать здатність у мирний час забезпечувати бойову і мобілізаційну готовність військ (сил) у їхньому новому вигляді, а у воєнний час – нарощування їх бойових спроможностей на усіх рівнях ведення збройної боротьби: стратегічному, оперативному і тактичному.

Звідси випливає суть органу управління системою забезпечення військовим майном та послугами військ (сил) у мирний час при запровадженні логістики в Збройних Силах України, що означає необхідність:

переглянути функції як складових елементів системи забезпечення військовим майном, так і всієї системи в цілому;

виявити, що є необхідним і достатнім, а що обтяжливим, надлишковим або дублюючим;

перейти на нові організаційно-штатні структури, вибудувати вертикаль керування ними, систему комплектування і підготовки фахівців служб, що входять в систему;

виробити сучасні підходи до нагромадження, змісту і використанню запасів військового майна, організації військових перевезень і евакуації, технічному оснащенню, військових частин і підрозділів, установ та лікувальних закладів;

удосконалити власну економічну діяльність, поліпшити якість планування, більш ефективно експлуатувати інфраструктуру, оптимізувати витрати на закупівлю і надання послуг, тощо.

Таким чином, кінцева мета - це створення ефективної логістичної системи забезпечення військовим майном та послугами Збройних Сил України, яка спроможна здійснювати планування та управління процесами забезпечення військ (сил) як у мирний час, так і в особливий період та буде сумісною із системою НАТО.

Для виконання цієї мети необхідно виконання таких основних завдань:

створення та нормативно-правове врегулювання функціонування логістики як органу управління системами забезпечення;

розроблення концепцію розвитку логістики та її функціонування, якою передбачити виконання заходів, що знаходяться в системі державного управління з залученням галузевих міністерств та відомств, покладення на них відповідальності за забезпечення ЗС (сил оборони);

уточнення повноважень, функцій, правових відносин та відповідальності органів виконавчої влади, МО України та ГШ щодо логістики ЗС, визначення функцій, завдань і повноважень органів логістики усіх рівнів військового керівництва;

упорядкування функцій і завдань за видами забезпечення і класами постачання між структурними підрозділами сил оборони;

запровадження механізму законодавчого врегулювання відносин суб'єктів господарювання і держави та впровадження нових механізмів забезпечення та надання окремих послуг;

приведення органів (структур) логістики, сил і засобів забезпечення майном та послугами до спроможності ними виконувати завдання з забезпечення сил оборони за визначеними завданнями;

чітке визначення ролі та відповідальності кабінету міністрів та інших суб'єктів оборонного планування стосовно вирішення питань логістики обороноздатності держави;

створення сил і засобів видів забезпечення майном та послугами із необхідним комплектом частин (підрозділів), установ відповідальних за безпосередню реалізацію завдань забезпечення військ (сил) військовим майном;

створення сучасної системи логістики сил оборони України з єдиною автоматизованою системою забезпечення військ (сил) військовим майном.

Виходячи з вищевикладеного основними напрямками трансформації існуючої системи забезпечення військовим майном та послугами Збройних Сил України є наступні заходи:

повна зміна усіх правил та процедур закупівель, впровадження електронних закупівель та електронного документообігу. Створення нової структури з питань закупівель, приєднання до послуг та проєктів Агенції НАТО з підтримки та постачання;

підвищення рівня якості військового майна, підвищення рівня відповідальності постачальників (виробників) за якість продукції, а також підвищення рівня довіри до постачальників (виробників) та створення впевненості у зовнішніх та внутрішніх замовників і користувачів в тому, що контрактні вимоги щодо якості були або будуть виконані належним чином;

створення системи державного гарантування якості оборонної продукції;

удосконалення системи надання послуг (аутсорсингу) за прикладом країн-членів НАТО, де послуги з харчування надаються структурним

підрозділом Міністерства оборони, який зобов'язаний надавати ці послуги як в мирний час, так і в інших випадках;

завершити розподіл функцій забезпечення військ (сил) військовим майном між Міністерством оборони та Генеральним штабом Збройних Сил України;

привести склад і можливості органів логістики, військових частин (підрозділів) і установ (закладів) у відповідність до покладених завдань з урахуванням виходу на встановлену чисельність;

удосконалити методи роботи та використання автоматизованих технічних засобів, високих технологій, які полегшують та прискорюють роботу фахівців, що призведе до удосконалення структури та скорочення чисельності органів військового управління, сил та засобів забезпечення;

запровадити принципи відповідності і взаємної сумісності, структурних підрозділів управління та сил забезпечення мирного та воєнного часу, що дозволить виконувати завдання як мирного часу, так і в умовах особливого періоду.

Для цього необхідно реалізувати заходи, які пов'язані з оптимізацією системи забезпечення Збройних Сил України, з одночасним доданням максимального ступеня автономності на усіх рівнях:

визначення обсягів і порядку ешелонування запасів військового майна з урахуванням скорочення бойового і чисельного складу Збройних Сил України, а також їх перехід до трирівневої структури;

скорочення надлишкової інфраструктури, що безпосередньо не впливає на рівень бойової готовності військ (сил);

удосконалення організаційно-економічних форм господарювання, у тому числі шляхом розширення участі цивільного сектору національної економіки в забезпеченні військ (сил);

модернізація технічної оснащеності видів забезпечення та класів постачання;

оптимізація системи підготовки військовослужбовців і цивільного персоналу за специфікою логістики.

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

Таким чином, ефективне управління системою забезпечення військовим майном військ (сил) Збройних Сил України підвищить своєчасність та ефективність системи забезпечення, зменшить витрати та оптимізує процес управління матеріальними, інформаційними і людськими потоками.

Перспективи подальших досліджень вбачаються в формуванні ефективної логістичної системи сил оборони України.

### Література

1. Про затвердження Порядку логістичного забезпечення сил оборони під час виконання завдань з оборони держави, захисту її суверенітету, територіальної цілісності та недоторканності: Постанова Кабінету Міністрів України від 27.12.2018 № 1208.
2. Про затвердження Основних положень логістичного забезпечення ЗС України: наказ Міністерства оборони України від 11.10.2016 р. № 522.
3. Доктрина об'єднана логістика: наказ Головнокомандувача ЗС України від 24.09.2020 №2861. – 37 с.
4. Доктрина з організації переміщень та перевезень (транспортувань) у Збройних Силах України: наказ Генерального штабу Збройних Сил України від 20.08.2020 року № 2464.
5. Доктрина забезпечення матеріально-технічними засобами, роботами та послугами: наказ Генерального штабу Збройних Сил України від 21.01.2021 року № 225.
6. Доктрина Сил логістики: затверджена Головнокомандувачем ЗС України 08.02.2021 р.
7. Доктрина Застосування сил логістики: затверджена начальником ГШ ЗС України 04.02.2021 року.
8. Про правовий режим воєнного стану: Закон України від 12.15.2015 р. № 389-VIII.
9. Про затвердження Положення про порядок обліку, зберігання, списання та використання військового майна у Збройних Сил: постанова Кабінету Міністрів України від 04.08.2000 р. №1225.
10. Кивлюк В. С., Ганненко Ю. О. Удосконалення системи забезпечення матеріальними ресурсами Збройних Сил України [Електронний ресурс] /В. С.Кивлюк, Ю. О. Ганненко // Social development & Security. – 2018. – Вип. 2(4). – С. 49–58.
11. Дачковський В. О. Алгоритм функціонування системи логістичного забезпечення / В.О. Дачковський, О.М. Сампір // науковий журнал “Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони”, НУОУ. – 2019. – № 2(35) С. 87 – 92.
12. Основи логістики : навч. посіб. НУОУ ім. Івана Черняхівського / В. О. Дачковський, І. В. Овчаренко, О. М. Воробійов, О. В. Ярошенко, Б. О. Мельник, – К. 2018. – 204 с.
13. Кальченко А. Г. Логістика: Підручник. – К.: КНЕУ, 2003. – 284 с.

### ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЕННЫМ ИМУЩЕСТВОМ ВОЙСК (СИЛ) УКРАИНЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

*Владимир Семенович Кивлюк (кандидат экономических наук, доцент)*  
*Виктор Иванович Лазоренко (кандидат военных наук, доцент)*  
*Юрий Александрович Ганненко*  
*Михаил Петрович Лаврук*

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

*В статье на основе проведенного анализа обеспечения войск (сил) Вооруженных Сил Украины на современном этапе развития определены основные проблемы логистики как органа управления системой обеспечения военным имуществом войск (сил) Украины и предлагаются пути их решения.*

*Рассматриваются вопросы использования единых терминов и понятий по обеспечению сил обороны в мирное время и особый период. Авторы определяют одну из главных проблем - это создание эффективной логистической системы сил обороны Украины, которая способна осуществлять планирование и управление процессами обеспечения войск (сил) военным имуществом, как в мирное время, так и в особый период и будет совместима с системой НАТО.*

*Единственное эффективное функционирование системы обеспечения военным имуществом войск (сил) Вооруженных Сил Украины составляет актуальное задание для органов военного управления, которые организуют обеспечения Вооруженных Сил Украины.*

*Создание системы обеспечения военным имуществом войск (сил) Вооруженных Сил Украины, как системы управления материальными потоками выдвигает задачу про объединение в единственную систему действующих видов тылового та технического обеспечения, приближаючи их к стандартам НАТО.*

*Система обеспечения рассматривается, как методология разработки рациональных методов управления обеспечения военным имуществом войск (сил) Вооруженных Сил Украины, направленных на оптимизацию, с минимальными затратами трудовых и материальных ресурсов.*

*В конце статьи сформулированы направления дальнейших исследований по совершенствованию системой обеспечения сил обороны государства.*

*Ключевые слова:* военное имущество, информационная система, логистика, логистическая система, материальные средства.

### PROBLEMS OF MANAGEMENT OF THE SYSTEM OF PROVISION OF MILITARY PROPERTY OF THE TROOPS OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE AND WAYS OF THEIR SOLUTION

*Volodymyr Kyvlyuk (Candidate of Economic Sciences, Associate Professor)*  
*Viktor Lazorenko (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)*  
*Yuriy Hannenko*  
*Mykhaylo Lavruk*

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine*

The article, based on the analysis of the troops (forces) of the Armed Forces of Ukraine at the present stage of development identifies the main problems of logistics as a management body for the military property of the troops (forces) of the Armed Forces of Ukraine and suggests ways to solve them.

The issues of using common terms and concepts to ensure the defense forces in peacetime and special periods are considered. The authors identify one of the main problems - the creation of an effective system of defense forces of Ukraine, which is able to plan and manage the process of providing troops (forces) with military property both in peacetime and in special periods and will be compatible with NATO.

The only effective functioning of the systems of providing military property troops (forces) of the Armed Forces of Ukraine is an urgent task for public administration bodies that organize the provision of the Armed Forces of Ukraine.

Establishment of military property support systems (forces) of the Armed Forces of Ukraine, as a material flow management system, solves the problem of unification of existing types of logistics and technical support, placing them in NATO standards.

The support system is considered as a methodology for developing rational methods of managing the provision of military property of the troops (forces) of the Armed Forces of Ukraine, aimed at optimization, with minimal labor and material resources.

Finally, the directions of further research on improving the system of support of the Defense Forces of Ukraine are formulated.

**Key words:** military property, information system, logistics, logistics system, material means.

### References

1. Pro zatverdzhennya Poryadku lohistrychnoho zabezpechennya syl obrony pid chas vykonannya zavdan' z obrony derzhavy, zakhystu yiyi suverenitetu, terytorial'noyi tsilisnosti ta nedotorkannosti: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 27.12.2018 № 1208.
2. Pro zatverdzhennya Osnovnykh polozhen' lohistrychnoho zabezpechennya ZS Ukrainy: nakaz Ministerstva obrony Ukrainy vid 11.10.2016 r. № 522.
3. Doktryna ob'yednana lohistryka: nakaz Holovnokomanduvacha ZS Ukrainy vid 24.09.2020 №2861. – 37 s.
4. Doktryna z orhanizatsiyi peremishchen' ta perevezen' (transportuvan') u Zbroynykh Sylakh Ukrainy: nakaz Heneral'noho shtabu Zbroynykh Syl Ukrainy vid 20.08.2020 roku № 2464.
5. Doktryna zabezpechennya material'no-tekhnichnymy zasobamy, robotamy ta posluhamy: nakaz Heneral'noho shtabu Zbroynykh Syl Ukrainy vid 21.01.2021 roku № 225.
6. Doktryna Syl lohistryky: zatverdzhena Holovnokomanduvachem ZS Ukrainy 08.02.2021 r.
7. Doktryna Zastosuvannya syl lohistryky: zatverdzhena nachal'nykom HSH ZS Ukrainy 04.02.2021 roku.
8. Pro pravovyy rezhym voyennoho stanu: Zakon Ukrainy vid 12.15.2015 r. № 389-VIII.
9. Pro zatverdzhennya Polozhennya pro poryadok obliku, zberihannya, spysannya ta vykorystannya viys'kovoho mayna u Zbroynykh Syl: postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 04.08 2000 r. №1225.
10. Kyvlyuk V. S., Hannenko YU. O. Udoskonalennya systemy zabezpechennya material'nymy resursamy Zbroynykh Syl Ukrainy [Elektronnyy resurs] /V. S.Kyvlyuk, YU. O. Hannenko // Social development & Security. – 2018. – Vyp. 2(4). – S. 49–58.
11. Dachkovs'kyi V. O. Alhorytm funktsionuvannya systemy lohistrychnoho zabezpechennya / V.O. Dachkovs'kyi, O.M. Sampir // naukovyy zhurnal “Suchasni informatsiyi tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta obrony”, NUOU. – 2019. – № 2(35) S. 87 – 92.
12. Osnovy lohistryky : navch. posib. NUOU im. Ivana Chernyakhovskoho / V. O. Dachkovs'kyi, I. V. Ovcharenko, O. M. Vorobyov, O. V. Yaroshenko, B. O. Mel'nyk, – K. 2018. – 204 s.
13. Kal'chenko A. H. Lohistryka: Pidruchnyk. – K.: KNEU, 2003. – 284 s..

Сергій Миколайович Чумаченко (доктор технічних наук, с.н.с)<sup>1</sup>  
Рустам Камілович Мурашов (кандидат технічних наук, професор)<sup>2</sup>  
Ярослав Вячеславович Мельник<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

<sup>2</sup>Головне управління оборонного планування Генерального штабу ЗСУ, Київ, Україна

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

## ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ЕКОЛОГО-ТЕХНОГЕННИХ ЗАГРОЗ ДЛЯ ПОТЕНЦІЙНО-НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ НА СХОДІ УКРАЇНИ

В даній статті розглядаються питання розробки теоретико-методологічних основ інформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури в умовах гібридної війни на сході України. Розглянуто потенційно небезпечні об'єкти критичної інфраструктури на сході України, які можуть стати джерелом чинників надзвичайної ситуації воєнно-техногенного походження в разі можливого ураження босприпасами під час ведення бойових дій. Це може призвести до виникнення ефекту доміно та втрат серед населення і особового складу ЗС України та інших збройних формувань. Ланцюгова реакція небезпечних наслідків може викликати екологічну катастрофу на Донбасі, яка за масштабами може перевищити рівні впливу застосування зброї масового ураження. Проведено інформаційний аналіз розташування об'єктів критичної інфраструктури відносно лінії розмежування в зоні проведення операції об'єднаних Сил. Розроблено модель класифікації можливих загроз для об'єктів критичної інфраструктури.

**Ключові слова:** гібридна війна, об'єкти критичної інфраструктури, операції об'єднаних сил, екологічні катастрофи, оцінювання загроз.

### Вступ

Розвиток сучасного воєнно-стратегічного тренду вже зараз призводить до розширення локальних і регіональних конфліктів, характерною рисою яких стала зміна форм вирішення міждержавних протиріч. Сьогоднішній зміст гібридних війн зводиться до "застосування непрямих асиметричних дій і способів їх ведення ("гібридних" війн), що дозволяє позбавити протиборчу сторону фактичного суверенітету без захоплення території держави військовою силою"[1]. Переможцем в такій війні стає держава або коаліція, що зуміли нав'язати супротивникові властиве їм бачення картини світу, цінностей, інтересів і що відповідає їх світогляду розуміння «справедливого» розподілу ресурсів.

**Постановка проблеми.** Разом зі збройною боротьбою, що становить специфічний зміст війни, в ній застосовуються також економічні, дипломатичні, науково-технічні, екологічні, інформаційні, ідеологічні, психологічні засоби і методи нав'язування супротивникові своєї волі, послаблення його військових можливостей і зміцнення власних позицій.

В той же час в сучасних умовах війна не обов'язково повинна асоціюватися з початком військових дій — продовження політики може здійснюватися насильницьким шляхом не лише

військовими, але і невоєнними засобами. Наприклад здійсненням атак або виведенням з ладу потенційно-небезпечних об'єктів (систем) критичної інфраструктури, що примусить противника піти на поступки або нав'язати свої умови політики та економічної діяльності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В ході досліджень було проведено аналіз наукових джерел вітчизняних і закордонних науковців, в яких розроблявся науково-методологічний апарат для оцінювання загроз для об'єктів критичної інфраструктури. Особливості оцінювання загроз для об'єктів критичної інфраструктури (ОКІ) під час гібридних війн досліджено лише частково і не в повному обсязі, про що свідчать публікації за цим напрямом таких вітчизняних науковців Биченка М.М., Яковлева Є.О., Лисенка О.І., Кодріка А.І., Уряднікової І.В., Парталіяна А.С., Туровець Ю.С., в роботах яких послідовно проводилась розробка категоріального апарату експертного оцінювання еколого-техногенних загроз для ОКІ [2, 3, 4, 5, 6, 7].

На основі вивчення досвіду країн-членів ЄС та НАТО з урахуванням безпекової ситуації в Україні Національним інститутом стратегічних досліджень розроблена "Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури" [8], що встановлює чіткі особливості критичної інфраструктури,

визначає основні цілі та принципи, за якими функціонує критична інфраструктура, як системна одиниця. В роботі Лядовської В.М., Гнатюка С.О., Рябого М.О. [9] проведено аналітичне дослідження нормативно-правової бази розвинених держав світу щодо варіацій ключових понять у галузі захисту критичної інфраструктури. Результати дозволили провести багатокритеріальний аналіз зазначених дефініцій і розробити методики віднесення тих чи інших об'єктів до критичної інфраструктури. В аналітичній доповіді Д.С. Бірюкова "Захист критичної інфраструктури: проблеми та перспективи впровадження в Україні" [10] висвітлюється необхідність формування єдиної державної політики у сфері захисту критично важливих об'єктів та інфраструктури в Україні. В науковій роботі В. Євсєєва [11] проведено аналіз досвіду захисту критичної інфраструктури в провідних країнах світу та наведено можливі шляхи вдосконалення захисту критичної інфраструктури України. В своїй статті [12] О. Суходоля провів дослідження пріоритетних напрямів та теоретико-методологічне обґрунтування визначення засад та принципів діяльності сектору безпеки у сфері захисту критичної інфраструктури. В своїй статті В. Чернета [13] комплексно розглянув систему критичної інфраструктури як невід'ємної підсистеми національної безпеки і встановив основні форм-фактори функціонування критичної інфраструктури. Стаття І. Уряднікової [14] висвітлює підходи до оцінювання ризиків і загроз на об'єктах критичної інфраструктури з використанням методом аналізу ієрархій. У роботі Бобро Д.Г. [15] проаналізовано сучасні методологічні підходи до оцінки критичності об'єктів інфраструктури та продемонстровано, що з урахуванням невизначеності, неточності та неповноти інформації, необхідної для коректної оцінки загроз та ризиків критичній інфраструктурі, багатовимірності можливих наслідків, необхідність урахування численних взаємозв'язків та взаємозалежностей об'єктів критичної інфраструктури, універсальність оцінки критичності може забезпечити застосування методів нечіткої логіки та експертних оцінок. Запропонована трирівнева ієрархічна модель критеріїв визначення критичності інфраструктури та надані пропозиції щодо подальших кроків із розбудови в Україні державної системи її захисту. У матеріалах статті О.Лисенка [16] надається огляд найбільш поширених підходів щодо стратегій управління ризиками на об'єктах критичної інфраструктури. При виборі стратегії управління ризиками в умовах невизначеності пропонується використання різних критеріїв, які враховують цілісні установки, обмеження щодо умов його життєдіяльності та інших обставин. Надається аналіз критеріїв Вальда, Лапласа, Севіджа. У статті "Актуальні проблеми модернізації ризиків і загроз критичних інфраструктур"

Але в даних роботах методологія оцінки загроз

для об'єктів критичної інфраструктури в зоні проведення операції об'єднаних сил не аналізувалась. З чого можна зробити висновок що тема дослідження оцінювання загроз для ОКІ в умовах гібридної війни не розкрита повністю і потребує подальшої розробки.

**Метою статті** є обґрунтування критеріїв оцінювання та розробка теоретико-методологічних основ інформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для класифікації потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури, що можуть стати цілями в умовах гібридної війни сході України.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо потенційно небезпечні об'єкти критичної інфраструктури на сході України, руйнування яких може призвести до катастрофічних наслідків (загибелі мирного населення, політичної та економічної дестабілізації, техногенних аварій і екологічних катастроф, евакуації населення та масової появи біженців). Масштаби збитків та наслідки в цьому випадку можна порівняти хіба що із наслідками від застосування зброї масового ураження або тривалого ведення бойових дій на техногенно переважаній території.

Всіх цих наслідків противник в гібридній війні може легко досягти із залученням незначних сил і засобів, якщо своєчасно не будуть оцінені можливі загрози і своєчасно вжито відповідних заходів щодо забезпечення безпеки потенційно небезпечних об'єктів критичної інфраструктури [3].

Для проведення досліджень та оцінювання загроз розроблено модель класифікації та оцінювання загроз для ОКІ, основні елементи якої наведено на рис.1.

Першим етапом є ідентифікація небезпек. Покажемо її на прикладі Авдіївського коксохімічного заводу та його шламонакопичувачів на рис.2. Другий етап представляє собою експертний аналіз розвитку ситуації у випадку ураження шламонакопичувача та формування можливих сценаріїв [5], у яких розгорнуто послідовність розвитку техногенних аварій і екологічних катастроф при руйнуванні об'єктів критичної інфраструктури (рис.3, таб. 1).

Розглянемо детально зазначені об'єкти.

Хвостосховища на прикладі ПрАТ АКХЗ.

У шламонакопичувачі та хімнакопичувачі зберігається відповідно 6,5 млн тонн шламів вуглезбагачення (IV клас безпеки відходів) та 443,1 тис. тонн хімічних відходів (II-IV класи безпеки відходів) 16 станом на 2019 рік.

Відходи хімнакопичувача, нижній шар яких складають смолисті відходи, мають токсичні властивості та небезпечні для здоров'я людини. По суті це механічна суміш великої кількості органічних з'єднань, які можуть впливати на кровоносну систему, функції центральної та периферичної нервової системи, нирок та печінки.

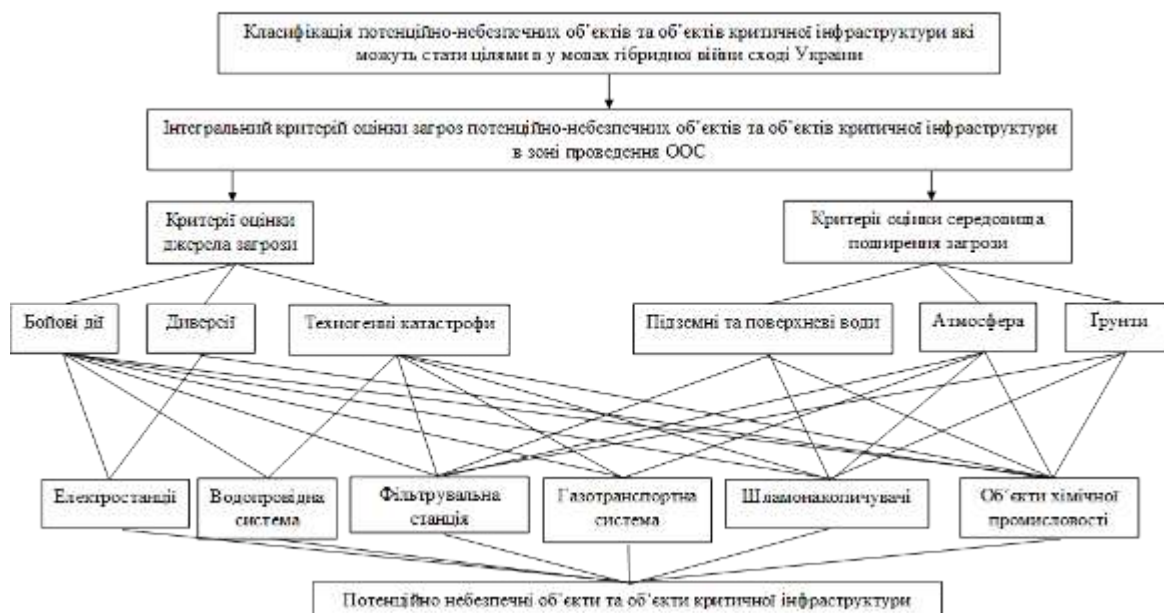


Рис.1 Модель класифікації та оцінки загроз об'єктів критичної інфраструктури



Рис. 2 Види небезпек від шламонакопичувачів ПрАТ АКХЗ [17]

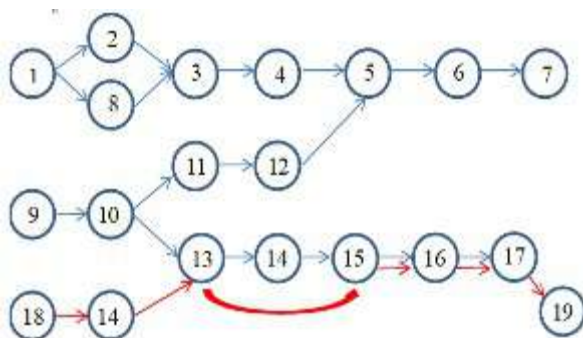


Рис.3 Послідовний розвиток екологічних катастроф при руйнуванні об'єктів критичної інфраструктури.

Таблиця 1

Значення розвитку екологічних катастроф при руйнуванні об'єктів критичної інфраструктури

№	Опис події
1	Прорив дамби шламонакопичувача
2	Затоплення села Красногорівка
3	Загибель людей і сільських тварин
4	Забруднення значної території відходами із шламонакопичувача

№	Опис події
5	Забруднення річок Кам'янка й Очеретувата та р. Кривий Торець
6	Забруднення басейну річки Сіверський Донець
7	Транскордонне забруднення басейну нижнього Дону
8	Затоплення села Веселе
9	Влучення снаряду в хімічний накопичувач
10	Руйнування гідро бар'єру
11	Вторинне забруднення ґрун. вод
12	Вторинне забруднення шламонакопичувача хім. речовинами з хім. накопичувача
13	Виникнення пожежі на хім. накопичувачі
14	Виникнення пожежі на породному відвалі
15	Забруднення приземного шару повітря
16	Задимлення прилеглої території (залізничного полотна і полігону тв. побут. відходів)
17	Перекидання пожежі на прилеглу територію (залізницю і полігон тв. побут. відходів)
18	Влучення снаряду в породний відвал
19	Перекидання пожежі на територію міста

Об'єкти хімічної промисловості.

На підконтрольній уряду України територій Донецької та Луганської областей знаходиться приблизно 150 об'єктів хімічної промисловості, які при застосуванні їх як цілі в гібридній війні несуть потенційну загрозу в залежності їх типу. На цих об'єктах знаходяться такі речовини як: хлор, аміак, фенол. Загальні обсяги отруйних речовин складають біля 10000 т.

Шахти.

З початком ведення бойових дій на сході України, більшість шахт (близько 70 шахт) припинила свою діяльність, деякі шахти було затоплено [3]. Основна небезпека яку несуть шахти, це забруднення підземних вод токсичними речовинами, обвал пустот з подальшим руйнуванням прилеглих об'єктів, забруднення прилеглої території, забруднення річок та водосховищ, екологічна катастрофа районного

масштабу. В найближчій перспективі стан шахт буде наближуватись до небезпечного та критичного. Можлива поява техногенних землетрусів.

Об'єкти водопостачання.

Діючи об'єкти водопостачання не тільки забезпечують регіон водою але і містять хлор для очищення питної води. При руйнуванні крім припинення постачання питної води можливі жертви серед цивільного населення та довготривале забруднення території таб.2.

Таблиця 2

Перелік фільтрувальних станцій та запаси хлору на них.

Фільтрувальна станція	Отруйні речовини	Відстань від лінії зіткнення	
Донецька	Хлор 1т	0 км	смт. Ясіновата
Маріупольській міськводоканал	Хлор 9 т	20 км	м. Маріуполь
Старокримська	Хлор 114 т	10 км	м. Маріуполь
Красноармійська	Хлор 7 т	30 км	смт. Карлівка

Канал Сіверський Донець-Донбас являється єдиним джерелом питного водопостачання Донецької області. Пошкодження трубопроводів каналу СДД в районі насосної станції 3-го підйому (м. Горлівка) призведе до зупинки каналу, рис.4.

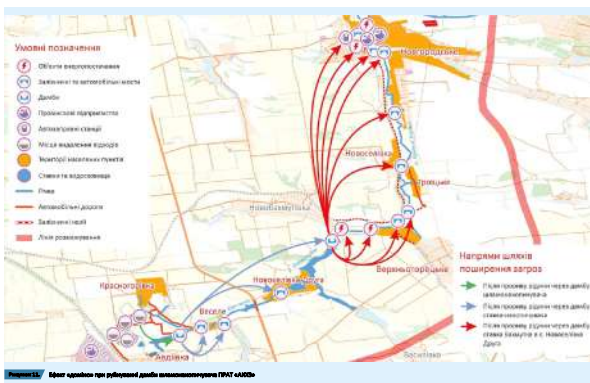


Рис. 4. Графічне представлення ефекту доміно [16]

При зупинці каналу СДД в зимовий період відбудеться руйнування льодового покриття, який з потоком руху води буде створювати крижані тороси, що призведуть до повного перекриття, як перерізу русла каналу, так і водозабірних споруд, а також при різкому зниженні рівня води в каналі призведе до зриву плит укосів, а також призведе до розморожування дюкерних переходів, виготовлених з сталевих труб великого перерізу. Відсутність водопостачання спричинить зупинку котелень і як наслідок розморожування систем опалення, тобто призведе до зриву теплопостачання міст і селищ Донецької області.

Зупинка каналу СДД у літній період призведе до спалаху інфекційних захворювань і створення

несприятливої санітарно-епідеміологічної обстановки в містах і селищах Донецької області (понад 180 населених пунктів) із загальною чисельністю населення близько 2,6 млн. осіб (м. Горлівка, Єнакієве, Макіївка, Донецьк, Покровськ, Докучаєвськ, Добропілля, Маріуполь та інші).

При зупинці каналу СДД фільтрувальні станції перейдуть на роботу з резервних джерел. Велико-Анадольська фільтрувальна станція не має резервного джерела і без централізованого водопостачання залишиться населення загальною чисельністю близько 60 тис. чоловік. Вода з Карлівського водосховища, як резервного джерела Карлівської фільтрувальної станції, не буде відповідати вимогам СанПіН за деякими показниками.

Обсягів водосховищ-резервних джерел буде достатньо лише протягом 30 діб.

Об'єкти електрозабезпечення.

Об'єкти електрозабезпечення забезпечують електроенергією Луганську і Донецькі області у тому числі і окуповані території (таб. 3). Всі основні об'єкти знаходяться в безпосередній близькості з лінією зіткнення і можуть бути атаковані у будь який час (рис. 5, 6). Це призведе до енергетичної та гуманітарної катастроф.

Таблиця 3.

Перелік електростанцій які знаходяться в зоні ураження біля лінії зіткнення ООС.

Найменування об'єкту	Встановлена електрична потужність	Відстань від лінії зіткнення
ДТЕК ЛУГАНСЬКА ТЕС	1450 МВт	0,3 км
Вуглегірська ТЕС	3 600 МВт	4,5 км
ДТЕК КУРАХІВСЬКА ТЕС	1527 МВт	21 км

Крім електростанцій об'єктами нападу у енергетичній сфері можуть бути електропідстанції та лінії електропередач. Подібні об'єкти під час війни в Югославії були першочерговими цілями авіації коаліції та призводили до гуманітарних катастроф регіонів, повністю паралізуючи економіку та повсякденне життя у містах.

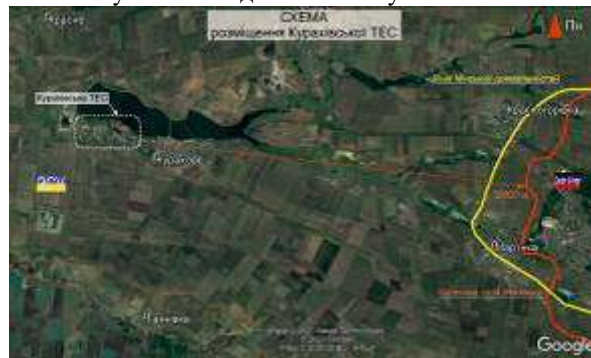


Рис.5 Схема розміщення Курахівської ТЕС.





Рис.6. Схема розміщення Луганської ТЕС

У Донецькій області лінії електромереж складають 32 749 км, функціонують 193 електростанції, 6 892 трансформаторних підстанцій.

У Луганській області лінії електромереж складають 16 756 км, функціонують 130 електростанцій, 4 122 трансформаторних підстанцій.

Газотранспортна система.

Атака на газотранспортну систему особливо в зимовий період спричинить гуманітарну катастрофу серед мирного населення і повністю паралізує роботу промисловості. Газотранспортна

система є однією із вразливих енергетичних систем, на відновлення роботи якої необхідний тривалий період. Також атаки на газові сховища будуть мати катастрофічні наслідки. Наприклад пожежа на Васильківській нафтобазі де також зберігались продукти скрапеного газу. Внаслідок пожежі загинуло 6 осіб, а у Васильківському районі сталася екологічна катастрофа. Збитки від пожежі склали декілька мільйонів доларів. Витрати на гасіння пожежі оцінили у 50 мільйонів гривень.

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Таким чином в зоні проведення ООС визначено 6 основних видів потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури які можуть бути цілями противника в гібридній війні. Руйнування даних об'єктів призведе до масових жертв серед цивільного населення України. Для визначення шляхів запобігання техногенних аварій і екологічної катастрофи та оптимального розподілу ресурсів для їх усунення виникає необхідність в науковому дослідженні рівнів загроз та створенні науково-методологічного апарату оцінки загроз і ризиків для потенційно-небезпечних об'єктів критичної інфраструктури в зоні проведення ООС.

### Література

1. Герасимов В.В. По опыту Сирии. Начальник Генерального штаба Валерий Герасимов: «Гибридная война требует высокотехнологичного оружия и научного обоснования» Военно-промышленный курьер 2016. <https://www.vpk-news.ru/articles/29579>. 2. Биченко М.М., Довгий С.О. Основи інформатизації управління регіональною безпекою. /– К.: Наук. думка, 2004. –287 с. 3. Кодрик А.І., Яковлев Є.О., Чумаченко С.М., Парталян А.С. Методичні підходи до геоінформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для вуглепромислових районів Донбасу (на прикладі ПАО “Лисичанськвугілля” та ДП “Первомайськвугілля”) // Математичне моделювання в економіці. Міжнародний науковий журнал. № 4 (13), жовтень-грудень 2018 р. С. 5-17. 4. Парталян А.С., Чумаченко С.М. Інформаційні технології в задачах управління екологічною безпекою військових об'єктів // Інформатика, обчислювальна техніка та автоматизація. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Том 29 (68) №1 2018 С.15-20. 5. Уряднікова І.В., Чумаченко С.М., Кармазін С.В. Застосування експертно-аналітичних методів для оцінювання ризиків надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури - Науковий вісник Академії муніципального управління, 2015 С. 206-218. 6. Чумаченко С. М., Парталян А. С., Туровець Ю. С. Система підтримки прийняття рішень з управління екологічними загрозами у районі ведення бойових дій // 36. наук. пр. № 1 (83). Київ: ЦНДІ ЗС України, 2018. С. 88–95. 7. Колечко В. М., Парталян А. С. Підхід до обґрунтування критеріїв оцінювання природно-техногенних загроз // 36. наук. пр. № 2 (84). Київ: ЦНДІ ЗС України, 2018. С. 233–240. 8. Упоряд. Д.С. Бірюков,

С.І Кондратов за заг. ред. Суходолі О.М. Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні : зб. матеріалів міжнар. експерт. нарад. – К. : НІСД, 2016. – 176 с. 9. Лядовська В.М., Рябий М.О., Гнатюк С.О. Визначення критичної інформаційної інфраструктури та її захист: аналіз підходів. Зв'язок. – 2014. – №4. – С. 3-7. 10. Бірюков Д.С. Захист критичної інфраструктури: проблеми та перспективи впровадження в Україні : Аналітична записка. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/1026>. 11. Євсєєв В.О. Можливі шляхи удосконалення захисту критичної інфраструктури України з урахуванням світового досвіду. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2016. – № 4(49). – С. 168-172. 12. Суходоля О.М. Захист критичної інфраструктури: Сучасні виклики та пріоритетні завдання сектору безпеки URL [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgiin/irbis\\_nbuv/nivanb\\_2017\\_1-2\\_7.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgiin/irbis_nbuv/nivanb_2017_1-2_7.pdf) 13. Чернега В.М. Аналіз критичної інфраструктури та напрямки досліджень систем життєзабезпечення об'єктів України : Аналітична записка. <http://pm.khpi.edu.ua/article/download/2413-3000.2019.1327.9/162867>. 14. Бобро Д.Г. Методологія оцінки рівня в критичній інфраструктурі / Д.Г. Бобро // Стратегічні пріоритети. – Серія «Економіка». – 2015. – № 4 (37). – С. 83-93. 15. Лисенко О.І., Чеканова І.В., Кутовий О.П., Нікітін В.А.. Стратегії управління ризиками на об'єктах критичної інфраструктури в умовах невизначеності [Електронний ресурс] / О.І. Лисенко. – URL : <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/infrastrukt-86de2.pdf>. 16. Хвостосховища Донбасу. Звіт по проекту ОБСЄ. 2019. - 50 с. <https://www.osce.org/uk/project-coordinator-in-ukraine/456847>

**ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА ЭКОЛОГО-ТЕХНОГЕННЫХ УГРОЗ ДЛЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В УСЛОВИЯХ ВООРУЖЕННОГО КОНФЛИКТА НА ВОСТОКЕ УКРАИНЫ**

*Сергей Николаевич Чумаченко (доктор технических наук, с.н.с.)<sup>1</sup>*

*Рустам Камілович Мурасов (кандидат технических наук)<sup>2</sup>*

*Ярослав Вячеславович Мельник<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный университет пищевых технологий, Киев, Украина*

<sup>2</sup>*Гланое управление оборонного планирования Генерального штабу ЗСУ, Киев, Украина*

<sup>3</sup>*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*В данной статье рассматриваются вопросы разработки теоретико-методологических основ информационного анализа эколого-техногенных угроз для потенциально опасных объектов критической инфраструктуры в условиях гибридной войны на востоке Украины. Рассмотрены потенциально опасные объекты критической инфраструктуры на востоке Украины, которые могут стать источником факторов чрезвычайной ситуации военно-техногенного происхождения в случае возможного поражения боеприпасами во время ведения боевых действий. Это может привести к возникновению эффекта домино и потерь среди населения и личного состава ВС Украины и других вооруженных формирований. Цепная реакция опасных последствий может вызвать экологическую катастрофу в Донбассе, которая по масштабам может превысить уровни воздействия применения оружия массового поражения. Проведен информационный анализ расположения объектов критической инфраструктуры относительно линии разграничения в зоне проведения операции объединенных сил. Разработана модель классификации возможных угроз для объектов критической инфраструктуры.*

*Ключевые слова:* гибридная война, объекты критической инфраструктуры, операции объединенных сил, экологические катастрофы, оценка угроз.

**THEORETICAL AND METHODOLOGICAL BASIS OF INFORMATION ANALYSIS OF ECOLOGICAL AND MAN-GENERAL THREATS FOR POTENTIALLY HAZARDOUS FACILITIES OF CRITICAL INFRASTRUCTURE IN THE CONDITIONS OF THE ARMED CONFLICT IN THE EAST OF UKRAINE**

*Serhii Chumachenko (Doctor of technical sciences, Senior Research Fellow)<sup>1</sup>*

*Rustam Murasov (Candidate of technical sciences)<sup>2</sup>*

*Yaroslav Melnyk<sup>3</sup>,*

<sup>1</sup>*National university of food technologies, Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*State Main Directorate of Defense Planning of the General Staff of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

<sup>3</sup>*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

*This article discusses the development of theoretical and methodological foundations of information analysis of environmental and technogenic threats to potentially dangerous critical infrastructure facilities in the context of a hybrid war in eastern Ukraine. Potentially dangerous objects of critical infrastructure in the east of Ukraine, which can become a source of factors of an emergency of military-technological origin in the event of a possible defeat by ammunition during the conduct of hostilities, are considered. This can lead to the emergence of a domino effect and losses among the population and personnel of the Armed Forces of Ukraine and other ARMED formations. A chain reaction of dangerous consequences can cause an ecological catastrophe in Donbass, which in scale may exceed the levels of impact of the use of weapons of mass destruction. An informational analysis of the location of critical infrastructure facilities relative to the demarcation line in the zone of the joint forces operation was carried out. A model has been developed for the classification of possible threats to critical infrastructure facilities.*

*Key words:* hybrid war, critical infrastructure facilities, joint force operations, environmental disasters, threat assessment.

Юрій Іванович Адамов<sup>1</sup>

Володимир Володимирович Завальнюк (кандидат фізико-математичних наук, доцент)<sup>1</sup>

Валентин Олександрович Дідик<sup>1</sup>

Олександр Миколайович Печорін<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Військова академія (м. Одеса), Україна

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

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ СИЛ І ЗАСОБІВ ДЕСАНТНО-ШТУРМОВИХ ВІЙСЬК ПРИ ВИКОНАННІ БОЙОВИХ ЗАВДАНЬ

У статті розглядається порядок визначення необхідної і оптимальної кількості сил та засобів частин Десантно-штурмових військ ЗС України, необхідних для успішного виконання поставлених бойових завдань. Запропонована математична модель ґрунтується на концепції бойового потенціалу та застосовує квадратичне рівняння Ланчестера для оцінки втрат і необхідного початкового потенціалу сил, які проводять наступ як в ході кожного з етапів виконання багатетапного бойового завдання, так і всього завдання в цілому. На основі аналізу даних отриманих в результаті розрахунків математичної моделі, пропонується методика визначення оптимальної послідовності захоплення (знищення) об'єктів противника, при якій відсоток втрат є мінімальним (при фіксованому значенні початкового бойового потенціалу) або необхідний початковий потенціал (за заданого відсотку втрат) є найменшим. Також зважено порядок дій підрозділів при можливих змінах маршрутів пересування при зміні порядку знищення сил та засобів противника, та як визначення оптимального порядку може децю ускладнитися та потребує перебору всіх можливих варіантів. Згідно методики, наведено приклад проведення розрахунків, щодо здійснення десантно-рейдових дій, в ході яких необхідно провести десантування на територію противника, знищити (захопити) три цільові об'єкти та зайняти оборону в очікуванні підходу основних сил. При цьому в розрахунки враховано втрати бойового потенціалу повітряного десанту, які можуть виникнути у ході виконання бойового завдання. Результати розрахунків наведені в таблицях які містять дані, для аналізу та вибору найбільш оптимального варіанту застосування десантно-рейдових підрозділів при виконанні бойових завдань.

**Ключові слова:** сили та засоби, бойовий потенціал, рейдові дії, коефіцієнт вогневого ураження, повітряного десанту.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Застосування Десантно-штурмових військ (далі – ДШВ) ЗС України визначено охопленням противника з повітря, швидкого використання результатів вогневого ураження і виконання завдань, які неможливо ефективно вирішити іншими силами та засобами в тилу противника та в ході проведення стабілізаційної операції.

Успішне виконання бойових завдань частинами ДШВ ЗС України залежить від планування проведення операції (бойових дій). Проведення планування бойових дій потребує ретельного визначення оптимальної кількості сил та засобів для виконання бойових завдань, у зв'язку з оптимальним поповненням сил та засобів ході бойових дій. Одним із складових планування є забезпечення максимально ефективного використання бойових спроможностей усіх наявних у розпорядженні командира сил і засобів у ході виконання бойових завдань частини для

досягнення кінцевої мети бойових дій.

**Метою статті** є визначення необхідної і оптимальної кількості сил та засобів для частин ДШВ ЗС України є важливим етапом планування бойових дій при якому проводиться математичне моделювання ходу проведення бойових дій щодо виконання поставленої задачі. Тому стає питання щодо розроблення методики (розрахункових задач) визначення сил і засобів ДШВ ЗС України, необхідних для виконання завдань в операції (бойових діях).

### Виклад основного матеріалу дослідження

Для розроблення методики визначення сил і засобів ДШВ ЗСУ, необхідних для виконання завдань в операції (бойових діях) необхідно спершу створити математичну модель визначення та оцінювання сил та засобів частин і підрозділів.

Поняття «бойового потенціалу», вперше введене у докторській дисертації Е.Г. Ананьєва (ВВИА имени проф. Н.Е. Жуковского, 1958) [1], є

основною чисельною характеристикою боездатності підрозділів і застосовується для оцінки та порівняння сил протидіючих сторін.

Питання визначення бойового потенціалу добре розкрито у достатній кількості наукових робіт, з яких варто виділити роботи [1 – 6].

*Бойовий потенціал* (далі позначається літерою  $M$ ) – узагальнена характеристика бойових можливостей (вогневих, ударних і маневрених) військового формування (об'єднання, з'єднання, частини або підрозділу) або зразка військової техніки й озброєння в певному виді бойових дій (наступі, обороні тощо), який розраховується математично та позначається числом [1].

Бойовий потенціал конкретного виду озброєння визначається в ході моделювання бойових дій або аналізу набутого бойового досвіду та виражається в умовних одиницях (звичай, за одиницю приймають один з основних видів озброєнь).

Бойовий потенціал підрозділу визначається як сума бойових потенціалів відповідних видів озброєння, якими він оснащений, із урахуванням різноманітних коефіцієнтів (які можуть враховувати, наприклад, ступінь укомплектованості, підготовки особового складу, морально-психологічний стан тощо).

Перейдемо до розгляду основних способів дій Десантно-штурмових військ із використанням математичного моделювання їх зіткнень з противником і отриманню рівнянь для визначення кількості сил та засобів частин і підрозділів ДШВ, необхідної і достатньої для успішного виконання завдання.

Основним видом бойових дій військових частин (підрозділів) ДШВ під час їх дій у тилу противника є наступ.

Для моделювання втрат у бою далі буде застосоване квадратичне рівняння Ланчестера [7] (відзначимо, що застосування саме даної моделі не є принципово необхідним і вибір іншої моделі оцінки втрат не призводить до якісних змін у наведених нижче міркуваннях):

$$(M_{A,0}^2 - M_{A,t}^2) \lambda_A = (M_{B,0}^2 - M_{B,t}^2) \lambda_B = const, \quad (1)$$

де  $M_{A,0}$  та  $M_{B,0}$  – початкові потенціали сил та засобів сторін А і В,  $M_{A,t}$  та  $M_{B,t}$  – їх потенціали у довільний момент бою.

Початковий потенціал сил та засобів сторони А, необхідний для знищення сторони В при одночасному збереженні потенціалу величиною  $M_{A,K}$ , отримуємо з (1):

$$M_{A,0} = \sqrt{M_{A,K}^2 + M_{B,0}^2 \frac{\lambda_B}{\lambda_A} (1 - \mu_B^2)} \quad (2)$$

при цьому її втрати в ході бою дорівнюють

$$\Delta M_A = M_{A,0} - M_{A,K} = M_{A,0} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1 - \mu_B^2}{\chi_3^2}} \right),$$

де  $\lambda_B/\lambda_A$  – відношення потоків потенційно успішного вогневого ураження сторони В до сторони А;

$\mu_B = M_{B,K}/M_{B,0}$  – критичний стан сил і засобів противника, при якому він стає неспроможним продовжувати бій;

$$\text{коефіцієнт } \chi = \frac{M_A}{M_B} \sqrt{\frac{\lambda_A}{\lambda_B}} \text{ – співвідношення сил}$$

сторін (якщо  $\chi > 1$  – перемагає сторона А, при  $\chi < 1$  перемагає сторона В).

Розглянемо задачу визначення сил та засобів повітряного десанту, необхідних для успішного послідовного виконання декількох завдань, пов'язаних з наступальними діями.

Нехай в ході виконання поставленої задачі необхідно захопити (знищити) три об'єкти противника з бойовими потенціалами  $M_1, M_2, M_3$ , втративши не більше заданого відсотка від початкових сил.

Вирішення цієї задачі відбувається у зворотній послідовності: спочатку, знаючи заданий відсоток втрат  $z = I - M_{\partial,K}/M_{\partial,0}$  (де  $M_{\partial,0}$  – початковий потенціал сил та засобів наших підрозділів,  $M_{\partial,K}$  – потенціал сил та засобів наших підрозділів після завершення виконання всіх завдань) визначаємо потенціал сил та засобів  $M_{\partial,3}$ , необхідний для знищення останнього (третього) об'єкту противника; далі на базі отриманого значення  $M_{\partial,3}$  визначаємо сили та засоби  $M_{\partial,2}$ , необхідні для знищення передостаннього об'єкту тощо.

Потенціал сил та засобів  $M_{\partial,3}$  наступаючої сторони, необхідних для захоплення (знищення) третього об'єкту противника ( $M_3$ ) зі збереженням відповідного значення потенціалу  $M_{\partial,K}$  сил наступаючої сторони, визначається рівнянням (2):

$$M_{\partial,3} = \sqrt{M_{\partial,K}^2 + M_3^2 \frac{\lambda_{\partial}}{\lambda_3} (1 - \mu_3^2)}$$

де  $\lambda_{\partial}/\lambda_3$  – відношення потоків вогневого ураження наступаючої сторони до сторони, що обороняється;

$\mu_3$  – критичний стан сил і засобів противника, при якому він стає неспроможним продовжувати бій (береться на основі розвідданих).

Аналогічним чином, сили та засоби наступаючої сторони перед захопленням (знищенням) другого об'єкту повинні бути рівними

$$M_{\partial,2} = \sqrt{M_{\partial,3}^2 \frac{1}{l_{23}^2} + M_2^2 \frac{\lambda_{\partial}}{\lambda_{\partial}} (1 - \mu_2^2)},$$

де  $\lambda_2$  – коефіцієнт вогневого ураження сил та засобів другого противника;

$\mu_2$  – критичний стан сил і засобів противника, при якому він не спроможний продовжувати бій;

$l_{23}$  – коефіцієнт, що вказує можливі втрати бойового потенціалу повітряного десанту від дій ДРГ, удару авіації, артилерії та ураження при подоланні мінога загорождення у проміжку між захопленням (знищенням) другого та третього об'єкту ( $0 < l_{23} \leq 1$ , якщо втрати відсутні:  $l_{23} = 1$ ).

Остаточний вираз для початкової кількості сил та засобів  $M_{\partial,0}$ , мінімально необхідної для успішного виконання всієї послідовності задач

дорівнює:

$$M_{\partial,0} = \left( M_1^2 \frac{\lambda_1 (1-\mu_1^2)}{\lambda_{\partial} l_{01}^2} + M_2^2 \frac{\lambda_2 (1-\mu_2^2)}{\lambda_{\partial} l_{01}^2 l_{12}^2} + M_3^2 \frac{\lambda_3 (1-\mu_3^2)}{\lambda_{\partial} l_{01}^2 l_{12}^2 l_{23}^2} + M_{\partial,K}^2 \frac{1}{l_{01}^2 l_{12}^2 l_{23}^2} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

де  $l_{12}$  задає можливі втрати повітряного десанту у проміжку між захоплення (знищенням) першого та другого об'єкту;

$l_{01}$  – коефіцієнт, що вказує можливі втрати бойового потенціалу повітряного десанту у проміжку між початком проведення рейдових дій та захоплення (знищенням) першого об'єкту.

Повертаючись до значення відсотку максимально допустимих витрат  $z = 1 - \frac{M_{\partial,K}}{M_{\partial,0}} > 0$

повітряного десанту в ході виконання завдання та перетворюючи рівняння (3) відповідним чином отримуємо вираз для визначення величини  $M_{\partial,0}$  через задане значення відсотку витрат:

$$M_{\partial,0} = \frac{\sqrt{M_1^2 \frac{\lambda_1 (1-\mu_1^2)}{\lambda_{\partial} l_{01}^2} + M_2^2 \frac{\lambda_2 (1-\mu_2^2)}{\lambda_{\partial} l_{01}^2 l_{12}^2} + M_3^2 \frac{\lambda_3 (1-\mu_3^2)}{\lambda_{\partial} l_{01}^2 l_{12}^2 l_{23}^2}}}{\sqrt{1 - \frac{(1-z)^2}{l_{01}^2 l_{12}^2 l_{23}^2}}}, \quad (4)$$

де  $M_{\partial,0}$  – склад сил і засобів перед початком проведення рейдових дій;

$M_{\partial,1}$ ,  $M_{\partial,2}$ ,  $M_{\partial,3}$  – склад сил і засобів перед початком захоплення (знищенням) першого, другого і третього об'єктів відповідно;

$M_{\partial,K}$  – склад сил і засобів після завершення виконання завдань;

$z$  – відсоток витрат.

У випадку довільного числа  $N$  бойових дій попередня рівність (4) набуває вигляду:

$$M_{\partial,0} = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^N M_j^2 \frac{\lambda_j (1-\mu_j^2)}{\lambda_{\partial} \prod_{i=1}^j l_{i-1,i}^2}}}{\sqrt{1 - \frac{(1-z)^2}{\prod_{i=1}^N l_{i-1,i}^2}}}. \quad (5)$$

Отримане рівняння не лише дозволяє визначити початковий потенціал сил та засобів наступаючої сторони, необхідний для виконання всієї послідовності боїв, але й проаналізувати його залежність від різних факторів (рис. 1 і 2) та визначити оптимальну послідовність захоплення (знищення) об'єктів противника, при якій відсоток витрат буде мінімальним або необхідний мінімальний початковий потенціал за заданого відсотку витрат (табл. 1 і 2).

Основним фактором, що впливає на вибір порядку захоплення (знищення) об'єктів противника є добуток квадрата їх бойового потенціалу та коефіцієнту успішності вогневого ураження противника  $M_j^2 \lambda_j$ . Як правило, найбільш доцільно атакувати об'єкти противника

у порядку зменшення цього добутку. Однак, приймаючи до уваги можливі зміни маршрутів пересування при зміні порядку знищення сил та засобів противника (і, відповідно, коефіцієнтів  $l_{\alpha\beta}$ ), визначення оптимального порядку може дещо ускладнитися та потребує перебору всіх можливих варіантів. Для спрощення процедури перебору доцільно побудувати таблицю з усіма можливими порядками захоплення (знищення) об'єктів противника, визначити всі відповідні коефіцієнти й обчислити результуючий відсоток втрат (або значення  $M_{\partial,0}$  за умови фіксованого відсотку втрат), після чого обрати оптимальний варіант.

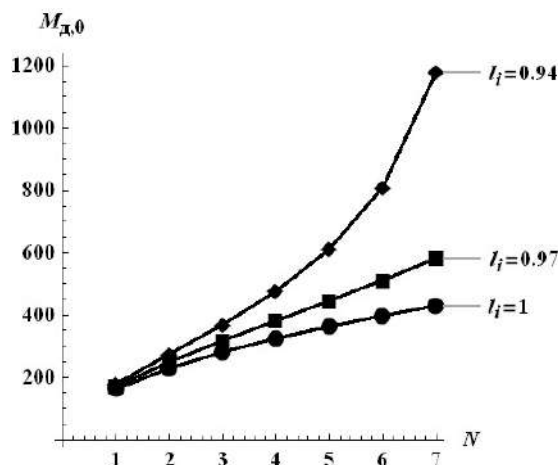


Рис. 1. Залежність необхідного початкового потенціалу  $M_{\partial,0}$  сил ДШВ від числа боїв з противником протягом рейду та значення коефіцієнту втрат  $l_i$  при пересуванні між захоплення (знищенням) об'єктів (всі  $l_i$  приймаються рівними).

Противники вважаються однаковими, при  $z = 0.4$  (40%),  $M_i = 100$ ,  $\lambda_i / \lambda_{\partial} = 3$ ,  $\mu_i = 0.25$  (25%)

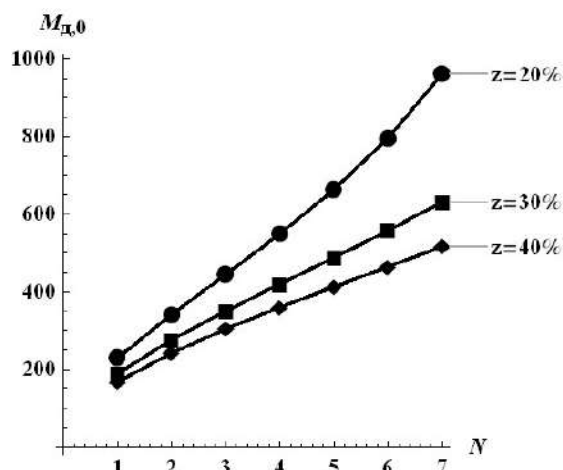


Рис. 2. Залежність необхідного початкового потенціалу  $M_{\partial,0}$  сил ДШВ від числа боїв з противником протягом рейду та значення цільового відсотку втрат  $z$  сил ДШВ.

Противники вважаються однаковими, при  $l_i = 0.98$ ,  $M_i = 100$ ,  $\lambda_i / \lambda_{\partial} = 3$ ,  $\mu_i = 0.25$  (25%)

Розглянемо приклад застосування отриманого рівняння на прикладі проведення десантно-рейдових дій, в ході яких необхідно провести десантування на територію противника, знищити

(захопити) три цільові об'єкти та зайняти оборону в очікуванні підходу основних сил.

Загальний бойовий потенціал  $M_j$  сил та засобів противника а також очікуване співвідношення  $\lambda_j/\lambda_\delta$  коефіцієнтів успішності вогневого ураження противника  $\lambda_j$  та втрати повітряного десанту від вогневого ураження противником  $\lambda_\delta$ , складають:

$$M_1=75; \lambda_1/\lambda_\delta=2;$$

$$M_2=70; \lambda_2/\lambda_\delta=3;$$

$$M_3=60; \lambda_3/\lambda_\delta=2.$$

Критичний стан сил і засобів всіх трьох об'єктів противника ( $\mu_1, \mu_2, \mu_3$ ), при якому вони втрачають спроможність продовжувати утримувати визначені позиції, оцінюється у 40% ( $\mu_1=\mu_2=\mu_3=0.4$ ).

Можливі втрати бойового потенціалу повітряного десанту від дій артилерії та авіації противника, а також при подоланні мінних полів та інших можливих загороджень при пересуванні між районом збору та об'єкта противника можуть становити:

між районом збору та розташування першого об'єкта противника якій підлягає захопленню (знищенню): 5% ( $l_{01}=0.95$ );

між розташуванням першого об'єкта противника та другого об'єкта противника якій підлягає захопленню (знищенню): 10% ( $l_{12}=0.90$ );

між розташуванням другого об'єкта противника та третього об'єкта противника якій підлягає захопленню (знищенню): 15% ( $l_{23}=0.85$ ).

Потенціал сил та засобів повітряного десанту, мінімально необхідний для успішного ведення оборони, оцінюється у  $M_{\delta,k}=80$  умовних одиниць [8].

Застосовуючи рівняння (3) для обчислення мінімально необхідного початкового потенціалу сил та засобів повітряного десанту для успішного виконання завдання в ході рейдових дій, отримуємо:

$$M_{\delta,0} = \left( \frac{75^2 \cdot 2(1-0.4^2)}{0.98^2} + \frac{70^2 \cdot 3(1-0.4^2)}{0.98^2 \cdot 0.9^2} + \frac{60^2 \cdot 2(1-0.4^2)}{0.98^2 \cdot 0.9^2 \cdot 0.85^2} + \frac{80^2}{0.98^2 \cdot 0.9^2 \cdot 0.85^2} \right)^{1/2} = 219.$$

Тобто початковий потенціал сил та засобів повітряного десанту  $M_{\delta,0}$  повинен становити не менше ніж 219 умовних одиниць.

За умови можливості вибору порядку знищення (захоплення) відомих об'єктів противника у ході рейдових дій та незмінності всіх інших факторів умов даного прикладу оптимальним порядком знищення противника (тим, що вимагає найменшого початкового потенціалу сил та засобів повітряного десанту або призводить до найменших втрат) є наступний:  $M_2, M_1, M_3$ . Найгіршим варіантом є:  $M_3, M_1, M_2$  (див. таблицю 1).

Аналогічним чином можна провести аналіз за умови заданого початкового потенціалу сил і засобів підрозділу повітряного десанту (таб. 2).

Таблиця 1  
Порівняння значень  $M_{\delta,0}$  за умови  $M_{\delta,k}=80$  залежно від порядку проведення боїв

Порядок захоплення (знищення) об'єктів противника	Мінімально необхідний початковий потенціал сил та засобів повітряного десанту
$M_1, M_2, M_3$	$M_{\delta,0} = 219$
$M_1, M_3, M_2$	$M_{\delta,0} = 226$
$M_2, M_1, M_3$	$M_{\delta,0} = \underline{217}$
$M_2, M_3, M_1$	$M_{\delta,0} = 221$
$M_3, M_1, M_2$	$M_{\delta,0} = 228$
$M_3, M_2, M_1$	$M_{\delta,0} = 224$

Таблиця 2  
Порівняння значень  $M_{\delta,k}$  за умови  $M_{\delta,0}=219$  залежно від порядку проведення бойових дій та відповідного відсотку втрат потенціалу сил та засобів повітряного десанту в ході рейдових дій

Порядок захоплення (знищення) об'єктів противника	Кінцевий потенціал сил та засобів повітряного десанту	Відсоток втрат бойового потенціалу повітряного десанту
$M_1, M_2, M_3$	$M_{\delta,0} = 219$	63%
$M_1, M_3, M_2$	$M_{\delta,0} = 226$	69%
$M_2, M_1, M_3$	$M_{\delta,0} = \underline{217}$	<u>62%</u>
$M_2, M_3, M_1$	$M_{\delta,0} = 221$	65%
$M_3, M_1, M_2$	$M_{\delta,0} = 228$	70%
$M_3, M_2, M_1$	$M_{\delta,0} = 224$	68%

З аналізу наведених у таблиці 2 результатів розрахунків бачимо, що різниця у відсотку втрат між оптимальним і найгіршим порядками знищення цілей становить 8% від початкового потенціалу сил і засобів повітряного десанту.

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Дана методика дозволяє проводити дослідження з оцінки ефективності застосування підрозділів ДШВ. Її реалізація разом зі спеціально розробленим програмним забезпеченням, яке буде використовуватись у майбутніх інформаційно-аналітичних системах, або ж типовим програмним забезпеченням (як Microsoft Excel) дозволить значно пришвидшити обробку результатів розрахунків бойового потенціалу як підрозділу ДШВ так і противника. Це в свою чергу дозволить командуванню значно скоротити час, необхідний для прийому рішень щодо застосування підрозділів, а у випадку необхідного миттєвого прийняття рішення в ході перебування підрозділів ДШВ у бойовому зіткненні – зберегти життя особового складу, змодельовавши можливі результати бойових дій та обравши оптимальний варіант їх проведення.

Перевага запропонованої методики полягає у легкості проведення розрахунків: основна задача тих, хто буде користуватись нею, – заздалегідь і правильно визначити всі коефіцієнти, що входять в рівняння; основна складність – коефіцієнти та показники, що стосуються сил противника, визначення яких є одним із завдань розвідки.

*Література*

1. Печорін О.М. Особливість тактики застосування військових частин в умовах ведення гібридної війни. К.НУОУ / Печорін О.М. // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2016. – № 3(27). – С. 161-166.
2. Печорін О.М. Рекомендації щодо підвищення живучості десантно-штурмового загону під час підготовки і ведення десантно-ударних дій. К.НУОУ / Печорін О.М. // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2016. – № 1(25). – С. 180-185.
3. Бонин А.С. О боевых потенциалах образцов ВВТ, формируваний и соотношениях сил группировок сторон. Загальні питання 241 А.С. Бонин, Г.И. Горчица. Военная мысль. – 2010. – № 4. – С. 61-67.
4. Брезгин В.С. О методологии оценки боевых потенциалов вооружения и военной техники и воинских формируваний / В.С. Брезгин, А.И. Буравлев // Военная мысль. – 2010. – № 8. – С. 41-48.
5. Скорик А.Б. Анализ общей методологии формирования требований к военно-техническим системам и вооружению ЗРВ. Ч. 1. Эволюционное развитие оперативно-тактических требований / А.Б. Скорик, Б.А. Демидов // Системы озброєння і військова техніка. – 2010. – № 3 (23). – С. 75-81.
6. Луценко Е.В. Автоматизированный системнокогнитивный анализ в управлении активными объектами (системная теория информации и ее применение в исследовании экономических, социально-психологических, технологических и организационно-технических систем): монография / Е.В. Луценко. – Краснодар: КубГАУ, 2002. – 605 с.
7. Alan Washburn, Moshe Kress. Combat modelling. International series in operation research & management science. Springer: 2009. DOI: 10.1007/978-1-4419-0790-5.
8. Збірник тактичних розрахунків з прикладами: навчальний посібник. Київ. / колектив авторів. – К.: НУОУ ім. Івана Черняховського. 2018. – С. 25-26.

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА СИЛ И СРЕДСТВ ДЕСАНТНО-ШТУРМОВЫХ ВОЙСК ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ БОЕВЫХ ЗАДАЧ**

*Юрий Иванович Адамов<sup>1</sup>*

*Владимир Владимирович Завальнюк (кандидат физико-математических наук, доцент)<sup>1</sup>*

*Валентин Александрович Дидык<sup>1</sup>*

*Печорин Александр Николаевич<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Военная академия (г. Одесса), Украина*

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

*В статье рассматривается порядок определения необходимой и оптимальной количества сил и средств частей десантно-штурмовой войск ВС Украины, необходимых для успешного выполнения поставленных боевых задач. Предложенная математическая модель основывается на концепции боевого потенциала и применяет квадратическое уравнение Ланчестера для оценки потерь и необходимого начального потенциала сил, которые проводят наступление как в ходе каждого из этапов выполнения многоэтапной боевой задачи, так и всего задания в целом. На основе анализа данных полученных в результате расчетов математической модели, предлагается методика определения оптимальной последовательности захвата (уничтожения) объектов противника, при которой процент потерь является минимальным (при фиксированном значении начального боевого потенциала) или необходим начальный потенциал (при заданном проценте потерь) является наименьшим. Также взвешенно порядок действий подразделений при возможных изменениях маршрутов передвижения при изменении порядка уничтожения сил и средств противника, и как определение оптимального порядка может несколько осложниться и требует перебора всех возможных вариантов. Согласно методике, приведен пример проведения расчетов, по осуществлению десантно-рейдовых действий, в ходе которых необходимо провести десантирование на территорию противника, уничтожить (захватить) три целевые объекты и занять оборону в ожидании подхода основных сил. При этом в расчет учтено потери боевого потенциала воздушного десанта, которые могут возникнуть в ходе выполнения боевой задачи. Результаты расчетов приведены в таблицах с данными, для анализа и выбора наиболее оптимального варианта применения десантно-рейдовых подразделений при выполнении боевых задач.*

**Ключевые слова:** *силы и средства, боевой потенциал, рейдовые действия, коэффициент огневого поражения, воздушного десанта.*

**EVALUATION OF ASSAULT TROOPS COMBAT POTENTIAL NECESSARY FOR SUCCESSFUL COMPLETION OF MULTI-STAGED COMBAT MISSIONS**

*Yuri Adamov<sup>1</sup>*

*Volodymyr Zavalnyuk (Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor)<sup>1</sup>*

*Valentin Didyk<sup>1</sup>*

*Oleksandr Pechorin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Odesa Military Academy, Ukraine

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

The article considers the procedure for determining the necessary and optimal number of forces and means of units of the Assault Troops of the Armed Forces of Ukraine, necessary for the successful execution of combat missions. The proposed mathematical model is based on the concept of combat potential and uses the Lanchester quadratic equation to estimate the losses and the required initial potential of the forces conducting the offensive during each stage of the multi-stage combat mission and the task as a whole. Based on the analysis of the data obtained as a result of calculations of the mathematical model, a method of determining the optimal sequence of capture (destruction) of enemy objects, in which the percentage of losses is minimal (at a fixed value of initial combat potential) or the required initial potential (for a given percentage of losses) is the smallest. The order of actions of units in case of possible changes of routes of movement at change of the order of destruction of forces and means of the enemy is considered also, and as definition of an optimum order can become a little complicated and needs search of all possible options. According to the methodology, there is an example of calculations on the implementation of airborne raids, during which it is necessary to land on enemy territory, destroy (capture) three targets and take the defense in anticipation of the approach of the main forces. At the same time, the calculations take into account the losses of the combat potential of the airborne troops, which may occur during the execution of the combat mission. The results of the calculations are given in the tables containing the data for the analysis and selection of the most optimal option for the use of airborne raids in combat missions.

**Key words:** forces and means, combat potential, raids, coefficient of fire damage, airborne.

### References

- 1. Pechorin O.M.** (2016) Osoblyvistj taktyky zastosuvannya vijskovykh chastyn v umovakh vedennja ghibrydnoji vijny [Feature of tactics of application of military units in the conditions of conducting hybrid war]. K.NUOU / Pechorin O.M. // Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta oborony. – 2016. – №3(27). – S. 161-166.
- 2. Pechorin O.M.** Rekomendaciji shhodo pidvyshhennja zhyvuchosti desantno-shturmovogho zaghonu pid chas pidghotovky i vedennja desantno-udarnykh dij. [Recommendations for increasing the survivability of the assault detachment during the preparation and conduct of airborne strikes]. K.NUOU / Pechorin O.M. // Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta oborony. – 2016. – №1(25). – S. 180-185.
- 3. Bonin A.C.** O boevyih potentsialah obraztsov VVT, formirovaniy i sootnosheniyah sil grupirovok storon. [On the combat potential of weapons and military equipment samples, formations and the balance of forces of the groupings of the sides.] / A.C. Bonin, G.I. Gorchitsa // Voennaya mysl. – 2010. – №4. – S.61-67.
- 4. Brezgin V.S.** O metodologii otsenki boevyih potentsialov vooruzheniya i voennoy tehniky i voinskih formirovaniy [On the methodology for assessing the combat potentials of weapons and military equipment and military formations] / V.S. Brezgin, A.I. Buravlev // Voennaya mysl. – 2010. – № 8. – S.41-48.
- 5. Skorik A.B.** Analiz obschey metodologii formirovaniya trebovaniy k voenno-tehnicheskim sistemam i vooruzheniyu ZRV. [Analysis of the general methodology for the formation of requirements for military-technical systems and weapons of air defense systems] Ch. 1. Evolyucionnoe razvitie operativno-takticheskikh trebovaniy / A.B. Skorik, B.A. Demidov // Sistemi ozbroEnnya I vlyskova tehnika. – 2010. – №3 (23). – S.75-81.
- 6. Lutsenko E.V.** Avtomatizirovannyiy sistemnokognitivnyiy analiz v upravlenii aktivnyimi ob'ektami (sistemnaya teoriya informatsii i ee primenenie v issledovanii ekonomicheskikh, sotsialno-psihologicheskikh, tehnologicheskikh i organizatsionno-tehnicheskikh sistem): monografiya [Automated system-cognitive analysis in the management of active objects (system theory of information and its application in the study of economic, socio-psychological, technological and organizational-technical systems): monograph] / E.V. Lutsenko. – Krasnodar: KubGAU, 2002. – 605 s.
- 7. Alan Washburn, Moshe Kress.** Combat modelling. International series in operation research & management science. Springer: 2009. DOI: 10.1007/978-1-4419-0790-5.
- 8. Zblmnik taktichnih rozrahunkiv z prikladami: navchalniy poslbnik.** [Collection of tactical calculations with examples: a textbook] KiIv. / kolektiv avtoriv. – K.: NUOU Im. Ivana Chernyahovskogo. 2018. – S.25-26.



Дмитро Анатолійович Чопа (кандидат технічних наук, с.н.с.)<sup>1</sup>  
Анатолій Йосипович Дерев'янчук (кандидат технічних наук, професор)<sup>2</sup>  
Владислав Андрійович Дерев'янчук<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Сумський державний університет, Суми, Україна

## МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО СТВОРЕННЯ ТА ДОСТУПУ ДО ВІДДАЛЕНИХ ВІРТУАЛЬНИХ СХОВИЩ НАВЧАЛЬНОГО КОНТЕНТУ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ РВ І А

Сучасні умови застосування Збройних Сил України визначають нові вимоги до організації навчання та підготовки військових фахівців. Для забезпечення високої якості навчання спеціалістів технічного напрямку, важливою умовою є використання сучасних навчальних інструментів, які дозволяють максимально відобразити реальні умови, змодельовати процеси, які протікають під час функціонування зразка ОВТ. З метою формування у тих, хто навчається, практичних вмінь та навичок в умовах обмеженого часу та доступу до навчальної матеріально - технічної бази, що обумовлено у, першу чергу, поширенням коронавірусу, авторами статті пропонується використовувати віддалене віртуальне сховище навчального контенту.

На основі досвіду кафедри військової підготовки Сумського державного університету у статті розглядається загальний підхід до створення віддалених віртуальних сховищ навчального контенту та доступу до нього. Сформульовані переваги використання зазначеного програмного забезпечення в освітньому процесі.

Наведені основні фази створення віртуального сховища навчального контенту.

За результатами аналізу педагогічного експерименту з користувачами навчального контенту, зроблено висновок про позитивний вплив використання віртуального сховища навчального контенту на підвищення якості та зростання рівня підготовки під час вивчення військово-технічних дисциплін.

**Ключові слова:** віртуальне сховище, навчальний контент, користувач, віртуальний тренажер.

### Вступ

Сучасний стан розвитку ОВТ, зокрема артилерійського озброєння, характеризується новими підходами щодо його розроблення, проектування та виробництва, з використанням новітніх інформаційних технологій. Це обумовлює постійно зростаючі потреби у висококваліфікованих спеціалістах з обслуговування як модернізованих, так і нових зразків ОВТ. Однією з особливостей навчання фахівців технічного напрямку є те, що значна частина практичної складової підготовки проводиться на механізмах та приладах зразків ОВТ.

Найскладніші моменти виникають під час вивчення роботи певних механізмів, наприклад, прицільних пристроїв артилерійських гармат, оскільки необхідно чітко представляти послідовність виконання операцій: установлення кутів прицілювання, точність їх установлення та наведення ствола гармати на ціль.

Також важливо знати і вміти перевіряти противідкотні пристрої кожний раз перед

стрільбою, що впливає як на саму стрільбу, так і на безпеку розрахунку. Все це обумовлює необхідність створення відповідних віртуальних тренажерів, що надасть змогу довести операції членів розрахунку до автоматизму.

**Постановка проблеми.** Для забезпечення високої якості навчання спеціалістів технічного напрямку, важливою умовою є навчальна матеріально-технічна база навчального підрозділу (кафедри відповідного ВВНЗ), що дозволяє максимально відобразити реальні умови, змодельовати експериментальні процеси на артилерійських системах або тренажерах, та все це потребує значних матеріальних витрат. З метою формування у тих, хто навчається, практичних вмінь та навичок в умовах пандемії коронавірусу, обмеженого часу та доступу до навчальних зразків ОВТ виникає необхідність застосування нових інноваційних інструментів підготовки військових фахівців.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літератури щодо створення та використання віддалених віртуальних сховищ

[1-3] показав наступне. Як Internet ресурси, так і наукові джерела в основному відображають створення та застосування віддалених віртуальних лабораторій. Поняття “сховище” використовується тільки у випадках коли мова йде про хмарні сховища.

Велика кількість робіт присвячена створенню віддалених віртуальних лабораторій з фізики, хімії, біології тощо. Разом з тим, зустрічаються роботи відповідного напрямку в різних галузях промисловості, медицини, юриспруденції тощо. У військовій освіті поняття про віддалені об’єкти з віртуальним контентом тільки зароджується.

**Мета статті** полягає у подальшому пошуку та розвитку підходів щодо розроблення та впровадження у процес навчання спеціалістів у ВВНЗ, у військових частинах та навчальних центрах віддалених віртуальних сховищ з навчальним контентом та доступу до нього.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Стратегічним напрямом удосконалення технологій навчання у ВВНЗ, де здійснюється підготовка військових фахівців, є користування інформаційними технологіями навчання, які, розвиваючи ідеї програмованого навчання, відкривають нові, ще недосліджені високотехнологічні варіанти навчання, що пов’язані з унікальними можливостями сучасних комп’ютерних систем навчання.

Зазначимо, що комп’ютерні технології в системі підготовки військових фахівців для Збройних Сил України мають надзвичайну актуальність, що зумовлено низкою причин.

Епідемія корона-вірусу вже призвела до необхідності активного використання он-лайн засобів для навчання. Одне з актуальних питань в нових умовах є візуалізація практичних робіт, а також організація та проведення різних видів занять в дистанційному режимі.

За таких умов (дистанційна форма навчання) побудова таких віртуальних сховищ принципово відрізняється від традиційних. Звідси випливає, що кожен курсант (студент) повинен мати віртуальне сховище “під рукою”. Одним із нових напрямів в сучасних умовах є створення віртуальних сховищ з віддаленим доступом. Під словом “віртуальний” будемо розуміти лише те, що реальний зразок механізму, агрегату, приладу тощо замінений на комп’ютерну візуалізацію. Під віртуальним сховищем розуміється меню (бібліотека) навчального контенту.

Необхідність створення таких віртуальних сховищ обумовлена тим, що військова освіта передбачає підготовку фахівців-практиків, які мають навички роботи з ОВТ, а також для експериментального закріплення пройденого матеріалу. Середовища з віддаленим доступом покликані не тільки дублювати практикум на

денній формі, але і дозволять працювати з унікальним дорогим обладнанням, наприклад, прицільними пристроями, двигунами самохідної техніки, відпрацьовувати потрібні операції з будь-якого місця розташування. Також може бути реалізована можливість роботи декількох користувачів за одним пристроєм одночасно.

Використання в навчальному процесі віртуальних середовищ дозволяє забезпечити: індивідуальне навчання без перерв; можливість модульного поділу практичних робіт; можливість паралельного використання на лекційних і практичних заняттях; поетапне вивчення необхідних операцій; можливість аналізу практичної роботи одночасно з її проведенням; можливість модифікації та вдосконалення, внесення коректив до існуючої моделі.

Важливим є також застосування віртуальних моделей боєприпасів як вибухонебезпечних предметів ОВТ, що надає можливість безпечно проводити будь-які експерименти з ними.

Зауважимо, що найскладніші моменти виникають під час вивчення прицільних пристроїв, боєприпасів (порядок складання бойових зарядів, установа підричників) оскільки при цьому необхідно чітко представляти послідовність виконання операцій, точність їх виконання. Виходячи з цього, в статті буде розглянуто процес створення віртуального середовища на прикладі віртуальному тренажеру прицілу ПГ-4, як одному із компонентів контенту віртуального сховища.

До завдань освітнього процесу входить розвиток творчого мислення та професійних здібностей слухачів, уміння вирішувати питання прикладного характеру, робити самостійні висновки, в зв’язку з чим віртуальні комплекси та симулятори повинні повністю відповідати реальному освітньому процесу.

Пристаюючи до виконання скомандованих установок, користувач повинен знати і добре уявляти порядок роботи, послідовність дій та слідкувати за їх правильністю. У реальному освітньому процесі дану інформативну функцію виконують навчальні посібники та відеоролики тощо. Програмні продукти повністю імітують реальний приціл, а методика відпрацювання операцій тут інтегрована в самі програмні продукти в формі комплексу супроводжувачих інструментів і надбудов.

Для впровадження викладеного вище, була розроблена схема віддаленого віртуального сховища з навчальним контентом, що розміщується на сервері (рис.1).

Пропонується до розгляду саме сховище, що являє собою сейф із навчальним контентом, доступ до його відкриття здійснюється спеціальним ключем – паролем, який надається слухачеві під час реєстрації доступу до ресурсів дистанційного навчання.

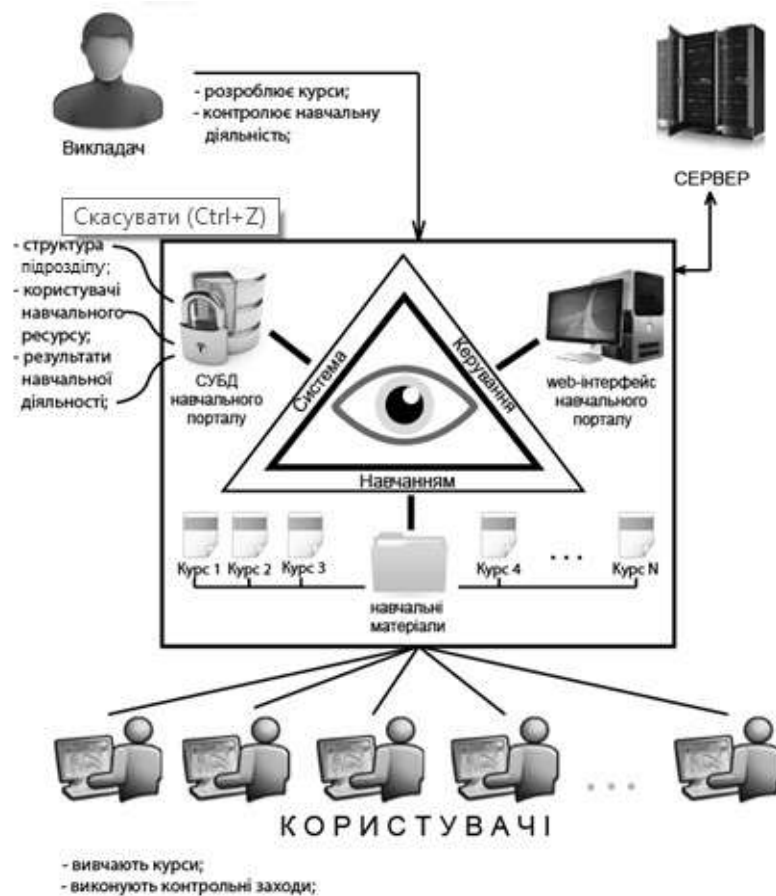


Рис. 1 Спрощена схема створення віддаленого віртуального сховища

Сховище має вигляд тривимірного простору (внутрішній вигляд сейфу) (рис. 2), стінки, стеля, підлога відображають наповнення відповідним контентом. Сейф має і нижню полицю, на якій розміщений інший контент і зарезервовано місце для перспективних розробок, наприклад, тренажерів віртуальної і доповненої реальності.

Зазначимо, що програмне забезпечення даного проекту дозволяє нарощувати контент у будь-якому фрагменті сховища.

Для прикладу розглянемо методику користування віртуальним тренажером прицілу ПГ-4, що знаходиться у віддаленому сховищі.

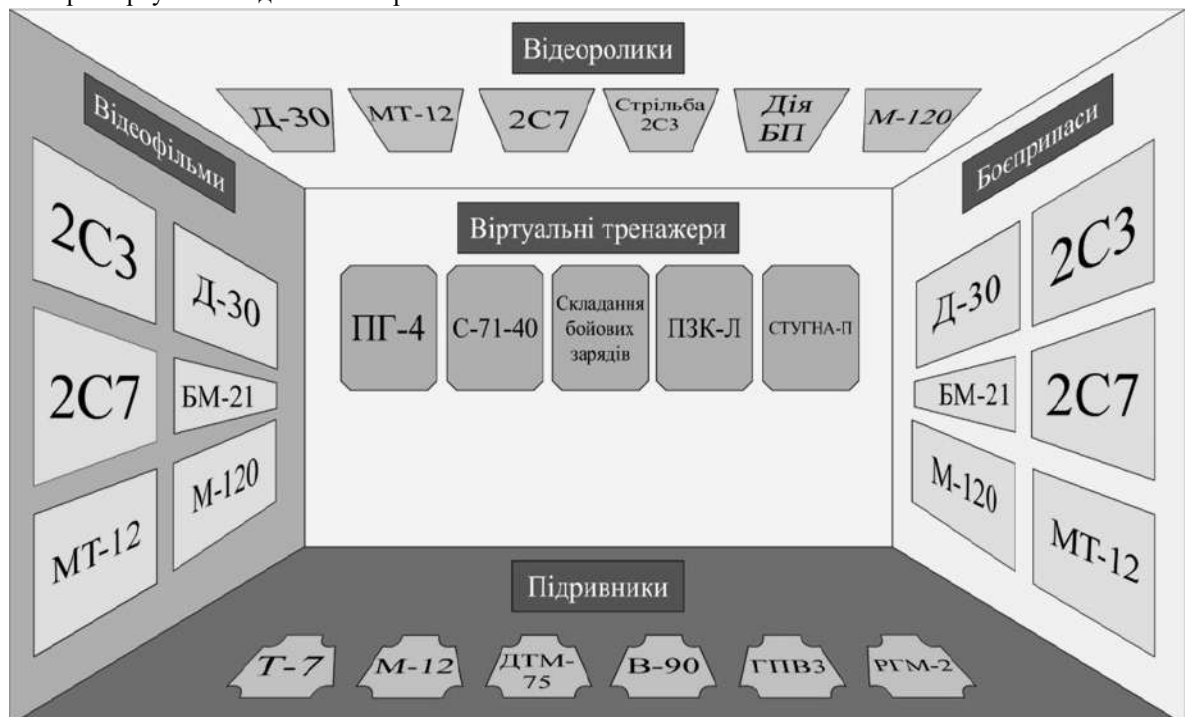


Рис. 2 Загальний вигляд сховища з навчальним контентом

Після реєстрації слухача у дистанційному курсі за допомогою курсору відкривається вікно з відповідним тренажером (у нашому випадку - віртуальний тренажер ПГ-4) (рис.3), причому

решта контенту залишається у вікні, чим забезпечується за необхідності швидкий доступ до будь-якої складової частини контенту.

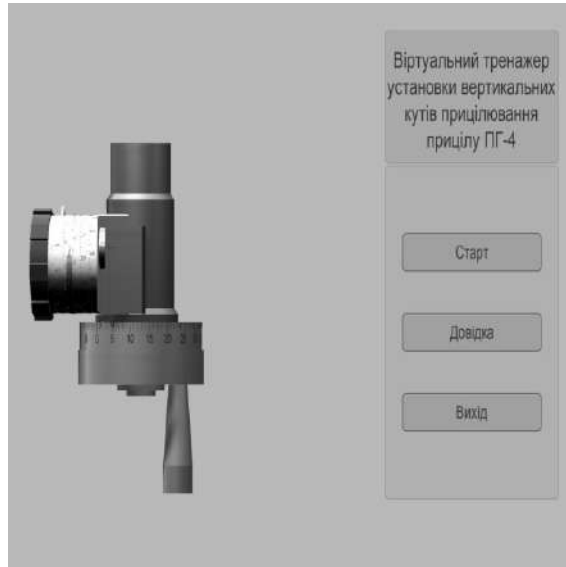


Рис. 3 Скріншот з віртуального тренажера – початок роботи (установка вертикальних кутів прицілювання)

Перед початком роботи користувач може отримати необхідну довідку щодо послідовності виконання операцій. При натисканні на кнопку “СТАРТ” запускається програма для відпрацювання вертикальних кутів прицілювання. Зауважимо, що віртуальний тренажер може працювати у трьох режимах: установка

вертикальних кутів прицілювання (рис.3); установка горизонтальних кутів прицілювання (рис.4); одночасна установка кутів прицілювання і наведення (рис.5), контроль за поведженням лінії прицілювання і вісі каналу ствола (рис.6). і наведення гаубиці на ціль (рис.7).



Рис. 4 Скріншот з віртуального тренажера (установлення горизонтальних кутів прицілювання)

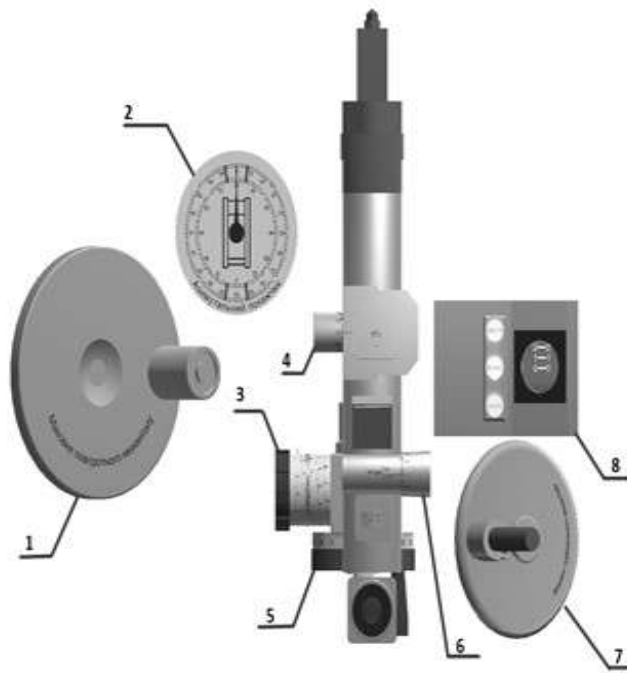


Рис. 5 Скріншот з віртуального тренажера:

1 - маховик горизонтального механізму наведення; 2-азимутальний датчик; 3- механізм кутів місця прицілювання; 4-механізм відбивача панорами; 5- механізм кутів прицілювання; 6-механізм кутоміра панорами; 7-- маховик вертикального механізму наведення; 8- щиток узгодження.

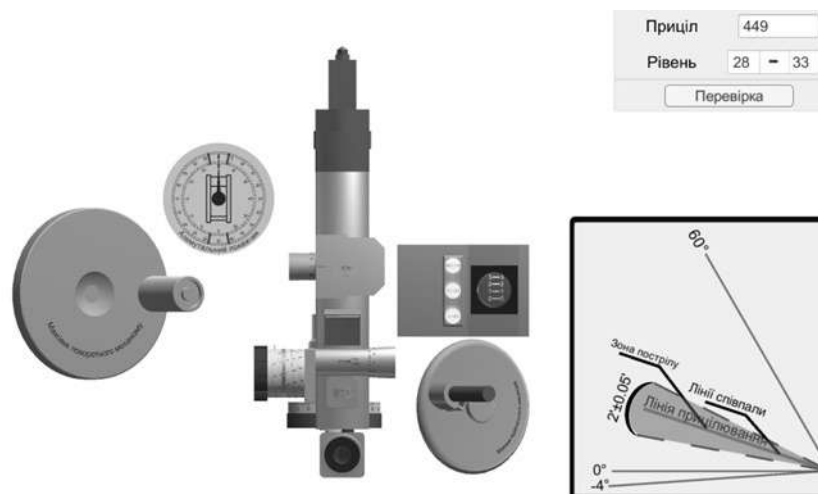


Рис. 6 Скріншот з віртуального тренажера (контроль за поведінням лінії прицілювання і вісі каналу ствола)

Перед початком роботи користувач може отримати необхідну довідку щодо послідовності виконання операцій. При натисканні на кнопку "СТАРТ" запускається програма для відпрацювання вертикальних кутів прицілювання. Зауважимо, що віртуальний тренажер може працювати у трьох режимах: установка вертикальних кутів прицілювання (рис.3); установка горизонтальних кутів прицілювання (рис.4); одночасна установка кутів прицілювання і наведення (рис.5), контроль за поведінням лінії прицілювання і вісі каналу ствола (рис.6). і наведення гаубиці на ціль (рис.7).

Програмне забезпечення дозволяє не тільки відпрацьовувати установку кутів прицілювання,

але й контролювати узгодження осі каналу ствола з лінією прицілювання. Контроль здійснюється за допомогою ламп і шкал механічного дублера, що розміщені на щитку узгодження. Крім того, користувач спостерігає узгодження каналу ствола з лінією прицілювання завдяки анімації у правому нижньому куті вікна (рис.6).

Для перевірки ефективності використання зазначеного тренажера в освітньому процесі були проведені курси навчання на тренажерах у різних групах тих, хто навчається: студенти кафедри військової підготовки; курсанти ВВНЗ; особовий склад навчального центру; викладачі за різними спеціальностями. Фіксація результатів проводилась за три періоди відповідних тренінгів.

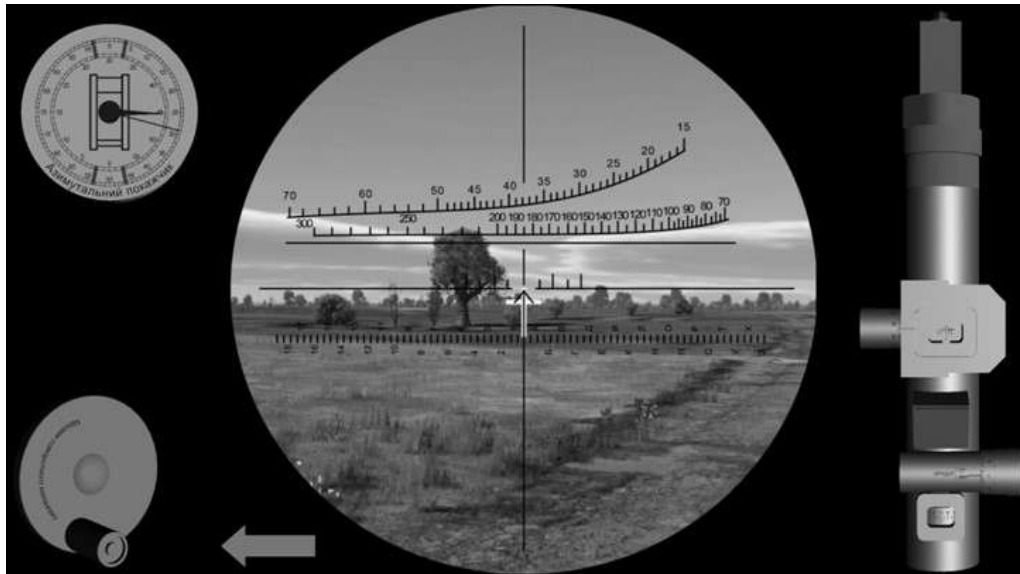


Рис. 7 Скріншот з віртуального тренажера (наведення гаубиці на ціль)

На початку введення в процес навчання віртуальних тренажерів результати були досить низькими, з великою кількістю помилок і запізненням в часі. На проміжному етапі процес навчання показав зростаючу динаміку. Помилки було значно менше і вони були незначні, але користувачі впоралися із завданням довше, чим це вимагалось. В кінці курсу навчання провели випробування на віртуальних тренажерах знову. Паралельно був розроблений пакет питань щодо оцінки ефективності застосування віддаленого віртуального сховища.

Всі учасники експерименту отримали необхідний пакет документів. Залучалися експерти, які були обрані випадковим чином із суміжних наукових галузей і, таким чином, була створена своєрідна “атестаційна” комісія.

Випадковий склад комісії став ключовим фактором і визначив об’єктивність і достовірність прийнятих рішень.

Такий склад “атестаційної” комісії дозволив під різними поглядами (аспектами) оцінити сутність даної роботи та її результати (рис. 8).

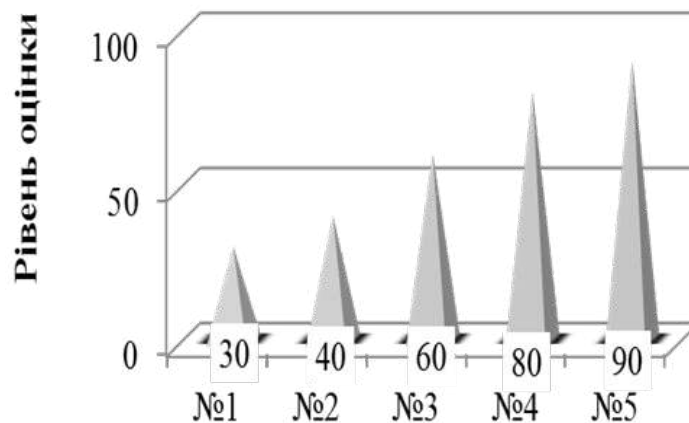


Рис. 8 Оцінювання результатів експертами:

- №1 - експерт-викладач з гуманітарних дисциплін;
- №2 - експерт-викладач з тактико-спеціальних дисциплін;
- №3 - експерт артилерійського підрозділу;
- №4 - експерт-викладач з технічних дисциплін;
- №5-експерт науково-виробничого підприємства.

Таким чином, на основі теоретичного аналізу літературних джерел і отриманих результатів даної роботи, можна зробити висновок, що одним із резервів підвищення кваліфікації фахівців РВ і А є розроблення віддалених віртуальних сховищ

та інтеграція їх у систему навчання і практичної підготовки фахівців. Наведені принципи розроблення віддалених віртуальних сховищ виглядають як потік, що проходить послідовно наступні фази: аналізу, вимог до проектування,

реалізації (тестування), інтеграції в початковий процес і супровід (підтримки). Весь процес методика розробки віддалених віртуальних

сховищ буде мати вигляд каскадної моделі, яка зображена на рис. 9.

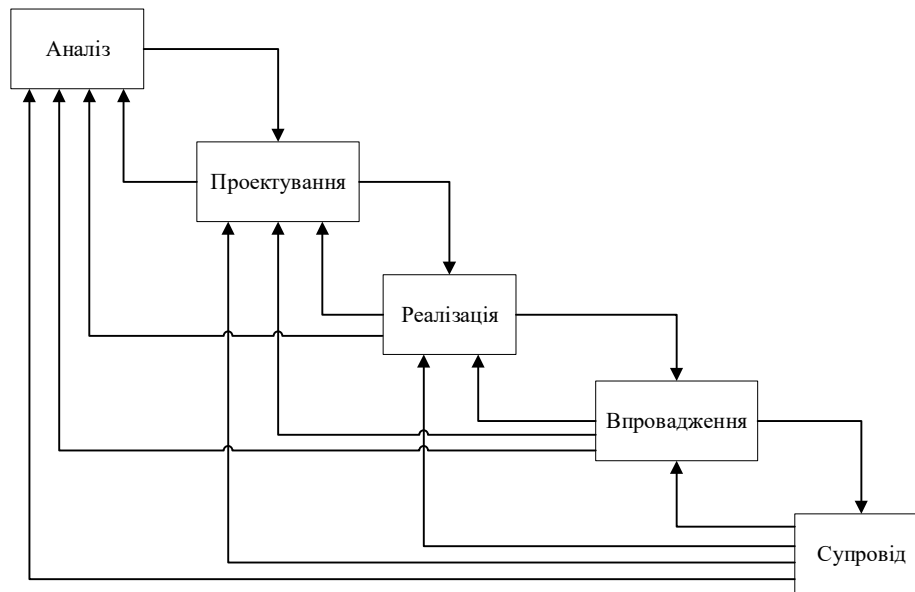


Рис. 9 Спрощена методика розроблення віддалених віртуальних сховищ.

Саме з цієї точки зору впровадження інформаційних технологій сприяє оптимальному вирішенню вищезазначених завдань та сприяє усуненню низки недоліків традиційного способу навчання.

Ці питання у всій повноті можна вирішувати за допомогою віртуальних сховищ, що створені за допомогою комп'ютерної техніки. Дії, що відбуваються на екрані комп'ютера, пов'язані з фізичними процесами та приносять абсолютно новий елемент в уявлення про фізику процесів, що відбуваються в агрегатах, механізмах, приладах ОВТ, боеприпасах тощо. Віртуальні сховища зі вбудованими тренажерами певною мірою доповнюють як теоретичні, так і практичні знання, тому що виконують функцію джерела інформації, тим самим сприяють більш повному засвоєнню і відпрацюванню необхідних операцій.

### Література

1. Лабораторія дистанційного і віртуального навчання. – Кафедра штучного інтелекту і інформаційних систем, Харківський державний технічний університет радіоелектроніки. <http://vdl.kture.kharkov.ua>.
2. Сокурєнко В.І. Особливості впровадження дистанційного навчання для технічних спеціальностей /

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Таким чином, використання віддалених віртуальних сховищ вирішує наступні завдання у підготовці військових фахівців технічного напрямку: забезпечення самостійної підготовки тих, хто навчається; підвищення мотивації до освоєння нового матеріалу; вивчення особливостей фізичних процесів, що протікають в зразках ОВТ; отримання навиків роботи на окремих приладах та пристроях. Перевага представленого віртуального середовища – це можливість ефективно використовувати віддалені віртуальні тренажери, різноманітні відеоролики, відеофільми та інші відеопродукти для різних форм навчання.

Подальші дослідження автори вбачають у створенні навчального контенту (тренажерів) віртуальної та доповненої реальності.

- Сокурєнко В.І., Огданський І.Ф., Папірник Р.Б., Солод Л.В. [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/vpabia/2009\\_2/statii/UDK%20378.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/vpabia/2009_2/statii/UDK%20378.pdf). 3. Бобрівник К.Є., Гладка М.В. Проектування віртуальної навчальної лабораторії для студентів технічно-технологічних спеціальностей "Енергетика і автоматика", №3, 2014 р., С.18–23.

### МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД ПО СОЗДАНИЮ И ДОСТУПУ ДО УДАЛЕННЫХ ВИРТУАЛЬНЫХ ХРАНИЛИЩ УЧЕБНОГО КОНТЕНТА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ РВ И А

Дмитрий Анатольевич Чона (кандидат технических наук, с.н.с.)<sup>1</sup>  
 Анатолий Йосипович Деревьянчук (кандидат технических наук, профессор)<sup>2</sup>  
 Владислав Андреевич Деревьянчук<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Сумской государственной университет, Сумы, Украина

Современные условия применения Вооруженных Сил Украины определяют новые требования к организации обучения и подготовки военных специалистов. Для обеспечения высокого качества обучения специалистов технического направления, важным условием является использование современных обучающих инструментов, которые позволяют максимально отразить реальные условия, смоделировать процессы, протекающие во время функционирования образца ВВТ. С целью формирования у обучаемых практических умений и навыков в условиях ограниченного времени и доступа к учебной материально - технической базе, что обусловлено в первую очередь, распространением коронавируса, авторами пола предлагается использовать удаленное виртуальное хранилище учебного контента.

На основе опыта кафедры военной подготовки Сумского государственного университета в статье рассматривается общий подход к созданию удаленных виртуальных хранилищ учебного контента и доступа к нему. Сформулированы преимущества использования указанного программного обеспечения в образовательном процессе.

Приведены основные фазы создания виртуального хранилища учебного контента.

По результатам анализа педагогического эксперимента с пользователями учебного контента, сделан вывод о положительном влиянии использования виртуального хранилища учебного контента на повышение качества и увеличение уровня подготовки при изучении военно-технических дисциплин.

**Ключевые слова:** виртуальное хранилище, учебный контент, пользователь, виртуальный тренажер.

### METHODOLOGICAL APPROACH TO CREATION AND ACCESS TO REMOTE VIRTUAL STORAGE OF EDUCATIONAL CONTENT FOR THE TRAINING OF ARTILLERY SPECIALISTS

*Dmitro Chopa (Candidate of technical sciences, Senior Research Fellow)<sup>1</sup>*

*Anatolii Derevianchuk (Candidate of technical sciences, professor)<sup>2</sup>*

*Vladislav Derevianchuk <sup>2</sup>*

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

<sup>2</sup>*Sumy State University, Sumy, Ukraine*

Modern conditions for the use of the Armed Forces of Ukraine determine new requirements for the organization of education and training of military specialists. To ensure the high quality of training of specialists in the technical direction, an important condition is the use of modern training tools that allow to reflect the real conditions as much as possible, to simulate the processes occurring during the functioning of the armament. In order to form students' practical skills and abilities in conditions of limited time and access to the training facilities, which is primarily due to the spread of the coronavirus, the authors of the article suggest using a remote virtual storage of educational content.

Based on the experience of the Department of Military Training of Sumy State University, the article discusses a general approach to the creation of remote virtual storage of educational content and access to it. The advantages of using the specified software in the educational process are formulated.

The main phases of creating a virtual storage of educational content are given.

Based on the results of the analysis of a pedagogical experiment with users of educational content, it was concluded that the use of a virtual storage of educational content has a positive effect on improving the quality and increasing the level of training in the study of military-technical disciplines.

**Key words:** virtual storage, educational content, user, virtual simulator.

### References

1. Laboratoriia dystantsiinoho i virtualnoho navchannia. [Laboratory of distance and virtual learning]. - Department of Artificial Intelligence and Information Systems, Kharkiv State Technical University of Radio Electronics. - <http://vdll.kture.kharkov.ua>.
2. Sokurenko V. (2009). Osoblyvosti vprovadzhennia dystantsiinoho navchannia dlia tekhnichnykh spetsialnosteï [Features of the introduction of distance learning for technical specialties]. [http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Vpabia/2009\\_2/statii/UDK%20378.pdf](http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Vpabia/2009_2/statii/UDK%20378.pdf).
3. Bobrivnyk K., Gladka M. (2014). Proektuvannia virtualnoi navchalnoi laboratorii dlia studentiv tekhnichno-tekhnolohichnykh spetsialnosteï "Enerhetyka i avtomatyka" [Design of a virtual training laboratory for students of technical and technological specialties "Energy and Automation"]. №3. P.18–23



*Спартак Юрійович Гогоняц* (кандидат військових наук, с.н.с.)

*Олег Андрійович Заболотний* (кандидат військових наук, доцент)

*Алла Олексіївна Клочко* (кандидат педагогічних наук, н.с.)

*Євген Григорович Руденко*

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

## МОДЕЛІ ПРОЄКТУВАННЯ ЗНАНЬ ЕКСПЕРТНО-НАВЧАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПІДГОТОВКИ ВІЙСЬКОВИХ ФАХІВЦІВ

Сучасною тенденцією в підготовці майбутніх військових фахівців є використання нового класу інформаційних технологій навчання, а саме, експертно-навчальних систем, основним призначенням яких є рішення поставлених завдань. Виділено основні компоненти експертно-навчальної системи (ЕНС): база знань; модуль навчання; модуль вилучення знань; модуль тестування; машина виведення; пояснення. ЕНС побудована на трьох групах базових принципах: кібернетичних - відображають досвід попередніх досліджень систем штучного інтелекту, ЕНС; педагогічних - визначають принципи, на яких будується педагогічне проектування і застосування ЕНС; психологічних - визначають вихідні положення і розуміння психіки слухача, на яких ґрунтуються процеси проектування і використання ЕНС в професійній підготовці майбутніх військових фахівців. Представлена структура ЕНС, яка складається з інтерпретатора (забезпечує послідовність реалізації правил для вирішення конкретного завдання) бази даних і знань (складається з фактів і правил предметної області) підсистем пояснень (дозволяють слухачеві отримати відповідь на питання: «Чому система приймає таке рішення?»); інтелектуального редактора бази знань (призначений для модифікації наявних правил і додавання нових) інтерфейсу. Проаналізовано існуючі моделі подання знань експертно-навчальної системи підготовки військових фахівців: модель, заснована на використанні фреймів; логічна модель; модель, заснована на використанні правил (продукційна модель); модель семантичної мережі. Показано області ефективного застосування розглянутих моделей. Аналіз показав раціональність застосування семантико-фреймової моделі подання знань в системі підготовки військових фахівців зі складними логічними зв'язками між їх поняттями і визначеннями. Продемонстровано приклад побудови ЕНС з вибором комбінаційної, а саме семантико-фреймової моделі подання знань. Виділено особливості семантико-фреймової моделі подання знань: поняття, категорії, об'єкти представлені у вигляді фреймів, зв'язок між фреймами у вигляді семантичної мережі. Програмна реалізація моделі може бути виконана з використанням системи управління базами даних MS SQL. Використання ЕНС такої моделі набуває особливого значення у процесі розв'язання складних та проблемних ситуацій у процесі підготовки військових фахівців.

**Ключові слова:** інформаційні технології, експертно-навчальна система, фрейм, слоти, семантико-фреймова модель.

### Вступ

Проаналізовано існуючі моделі представлення знань. Показано області ефективного застосування розглянутих моделей. Продемонстровано приклад побудови експертно-навчальної системи з вибором комбінаційної, а саме семантико-фреймової моделі представлення знань.

**Постановка проблеми.** Інтенсивний розвиток сучасних інформаційних технологій та соціально-економічні перетворення в суспільстві на їх основі потребують удосконалення процесу професійної підготовки військових фахівців. Забезпечення якісного освітнього рівня підготовки майбутніх військових можна досягти завдяки використанню сучасних інформаційних систем навчання, які дозволяють знаходити самостійні рішення в

складних проблемних та суперечливих ситуаціях з різним ступенем невизначеності, що зустрічаються в професійній практиці. Особливого значення у процесі розв'язання складних та проблемних ситуацій набуває використання експертно-навчальних систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах науковців [1–3] розглянуто впровадження сучасних інформаційних технологій у процесі підготовки майбутніх фахівців. Проблема удосконалення професійної підготовки майбутніх фахівців на основі використання інформаційних технологій підготовки знайшла відображення у роботах вчених [4–6]. Сучасною тенденцією в підготовці майбутніх військових фахівців є використання нового класу інформаційних

технологій навчання – експертно-навчальних систем, основним призначенням яких є розв’язання поставлених завдань [7]. У дослідженнях [2; 7] розкрито принципи побудови експертно-навчальних систем підготовки фахівців. У наших попередніх дослідженнях [8] обґрунтовано архітектуру експертно-навчальних систем з підготовки військових фахівців, однією з підсистем якої є база знань.

**Метою статті** є проаналізувати моделі проєктування знань експертно-навчальної системи підготовки військових фахівців.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Експертно-навчальна система (ЕНС) будується на основі знань експертів предметних галузей та реалізується у формі комп’ютерної програми, яка контролює і здійснює процес навчання. Призначення такої системи полягає в тому, що вона, з одного боку, допомагає слухачам самостійно навчатися, а з іншого – викладачам навчати і контролювати слухачів [9].

Виділяють наступні основні компоненти ЕНС:

1. база знань;
2. модуль навчання;
3. модуль вилучення знань;
4. модуль тестування;
5. машина виведення;
6. система пояснень.

ЕНС базується на трьох групах базових принципів: 1) кібернетичні принципи – відображають досвід попередніх досліджень в області систем штучного інтелекту, експертних та експертно-навчальних систем; 2) педагогічні принципи – визначають принципи, на яких будується педагогічне проєктування і застосування ЕНС в освітньому процесі; 3) психологічні принципи – визначають вихідні положення та розуміння психіки слухача, на яких повинні будуватися процеси проєктування і використання ЕНС у професійній підготовці майбутніх військових фахівців [10].

У процесі розробки ЕНС важливо обрати ефективну модель представлення знань. На сьогодні існують такі моделі представлення знань: семантична; продукційна; фреймова; логіко-предикатна, а також їх комбінації.

ЕНС складається з:

інтерпретатора, який забезпечує послідовність реалізації правил для розв’язання конкретного завдання на основі правил й фактів, що зберігаються в базі знань та базі даних;

базі даних і знань, яка складається з фактів та правил предметної галузі. Окрім того, в ній зберігаються константи, довідкові матеріали та проміжні дані;

підсистеми пояснень, які дозволяють слухачу отримати відповідь на питання: «Чому система приймає таке рішення?»;

інтелектуального редактора бази знань, який

призначений як для модифікації наявних правил, так і додавання в базу знань нових;

інтерфейсу користувача, комплексу програм, який отримує результати і реалізує діалог користувача з системою на етапі введення інформації.

Структура такої ЕНС представлена на рис. 1.

Однією з найбільш важливих проблем, характерних для ЕНС, є проблема подачі знань. Для того, щоб маніпулювати знаннями за допомогою комп’ютера, необхідно здійснити їх моделювання. У таких випадках необхідно відрізнити знання, призначені для обробки комп’ютером, від знань, які використовуються людиною. При великому обсязі знань треба спрощувати послідовні окремі елементи управління знаннями.

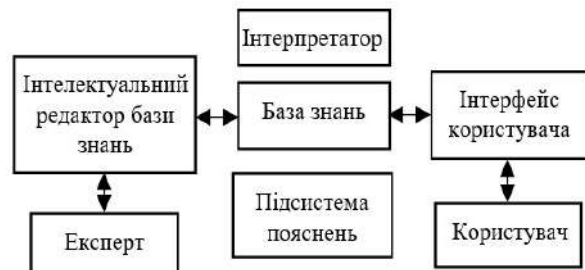


Рис. 1. Структура експертно-навчальної системи

При проєктуванні моделей уявлення знань треба враховувати такі фактори, як простота розуміння та однорідність уявлень. Однорідні уявлення спрощують управління знаннями та логічними висновками. Подача знань має бути зрозуміла як користувачеві системи, так і експерту. В іншому випадку процес отримання знань та проведення їх оцінки ускладнюється.

Можна виділити наступні типові моделі подачі знань:

- модель, заснована на використанні фреймів;
- логічна модель;
- модель, заснована на використанні правил (продукційна модель);
- модель семантичної мережі [11].

Розглянемо кожну з представлених моделей.

Фреймова модель вперше запропонована М. Мінським [12], у якій фрейм означає абстрактний образ поняття, об’єкта, явища тощо. Інформація, яка відноситься до кадру, міститься в слоті (складова фрейму). Всі фрейми взаємопов’язані між собою та об’єднують процедурні знання, формуючи єдину фреймову систему.

Теорія фреймів слугувала поштовхом для розвитку кількох мов представлення знань, які стали досить поширеними мовами завдяки своїй гнучкості та широким можливостям.

Представлення знань на основі фреймової моделі, ефективно для структурного опису складних понять та вирішення завдань, в яких, відповідно до ситуації, бажано застосовувати різні способи виведення. У той же час на такій мові не можна управляти закінченням та сталістю

цілісного образу. Зокрема, з цієї причини існує небезпека порушення приєднаної процедури та зациклення процесу виведення. Слід зазначити, що фреймова система без механізму приєднаних процедур найчастіше використовується як система продукції бази даних.

Логічна модель використовується для виведення закінчення за допомогою представлення знань в системі логіки предикаторів першого порядку.

Людська логіка – це інтелектуальна модель з нечітко визначеною структурою. У моделі, заснованій на використанні правил знання представлені сукупністю правил виду «ЯКЩО – ТО». Продукційна система заснована саме на цій моделі. Ці системи є двох типів – з прямим та зворотним зв'язком.

У продукційній системі з зворотним зв'язком будується дерево за допомогою правил І/АБО, що об'єднує в єдине ціле факти та висновки. Оцінка цього дерева на основі факту, що розміщений в базі даних, є логічним висновком. Логічні висновки можуть бути прямими, зворотними та двонаправленими [11].

Для прямих висновків точкою відліку є процес оцінки, коли представлені дані призупиняються на негативних вузлах, а гіпотези, що відповідають найвищому рівню дерева (корені), використовуються в якості висновків (якщо не все дерево було пройдено). Однак, для таких висновків характерним є дерево, а також великі розміри даних, що не мають прямого відношення до висновків, які є зайвими. Перевагою зворотного висновку є те, що оцінюється тільки та частина дерева, яка має відношення до висновку. У разі, якщо заперечення або затвердження неможливі, то породження дерева позбавлене сенсу. У двонаправлених висновках спочатку запитуються дані, які необхідні для прийняття рішення щодо правильності даної гіпотези, а потім оцінюються невеликі обсяги отриманих даних й вибирається гіпотеза (за прикладом прямого висновку). На основі цих висновків реалізуються більш гнучкі та потужні системи.

Продукційна система включає наступні компоненти: інтерпретатор для отримання логічного висновку; база правил, що складається з набору правил виведення; база даних, що містить безліч фактів. Висновки виконуються у вигляді циклу «розуміння – виконання». Кожен цикл оновлює базу даних, яка буде виконувати частину обраних правил. У результаті вміст бази даних перетворюється від початкового до цільового, тобто цільова система синтезується в базі даних. Для виробничої системи характерний цикл вибору та виконання правил. За необхідності відбувається періодичне зіставлення за зразком у базі правил, адже із збільшенням кількості правил швидкість виведення істотно зменшується. Отже, такі системи не є придатними для вирішення великомасштабних завдань.

У зв'язку з викладеним вище виділимо слабкі та сильні сторони продукційних систем. Сильними сторонами таких систем є простота: створення та розуміння окремих правил; поповнення та модифікації; механізму логічного висновку. До слабких сторін можна віднести: відмінність від структури людських знань; взаємне відношення незрозумілості правил; низька ефективність обробки; складність оцінювання; логіка введення уразі відсутності гнучкості.

Таким чином, якщо об'єктом є невелика завдання, то проявляється тільки сильна сторона виробничої системи. У разі збільшення обсягу знань, необхідно робити гнучкі висновки або збільшувати швидкість виведення, що потребує структурованих знань та розв'язання складних завдань. У цьому випадку необхідно групувати знання та структурувати базу даних.

Модель семантичної мережі – це модель представлення знань на основі методів семантичної мережі, що має вигляд орієнтованого графа, вершини якого відповідають об'єкти предметної галузі, а дуги задають відносини між ними. Об'єктами можуть бути поняття, події, властивості, процеси.

Таким чином, семантична мережа є одним із способів представлення знань та відображає семантику предметної галузі у вигляді понять та відносин.

Для ЕНС підготовки військових фахівців ефективним є представлення знань у вигляді семантико-фреймової моделі. У такі комбінованій моделі поняття, категорії, об'єкти представляються у вигляді фреймів, а зв'язок між фреймами здійснюється у вигляді семантичної мережі.

Розглянемо приклад побудови експертно-навчальної системи семантико-фреймової моделі представлення знань у системі підготовки військових фахівців.

На рис.2 представлено фрагмент семантико-фреймової моделі представлення знань у системі підготовки військових фахівців.

Фрейм представляється у вигляді структури:  
назва фрейма < (Слот 1, значення); (Слот 2, значення); (Слот 3, значення); ... (Слот N, значення) >.

Семантичний зв'язок встановлюється між фреймами у вигляді відношень.

У деяких випадках структура фрейма представляється у вигляді:

НАЗВА ФРЕЙМА:

(назва 1-го слота; значення 1-го слота),

(назва 2-го слота; значення 2-го слота),

... ..

(назва N-го слота; значення N-го слота).

У теорії фреймів передбачається успадкування властивостей. У фреймах і в семантичних мережах спадкування відбувається за АКО – зв'язками (A-kind-of = це). Слот АКО вказує на фрейм більш вищого рівня.

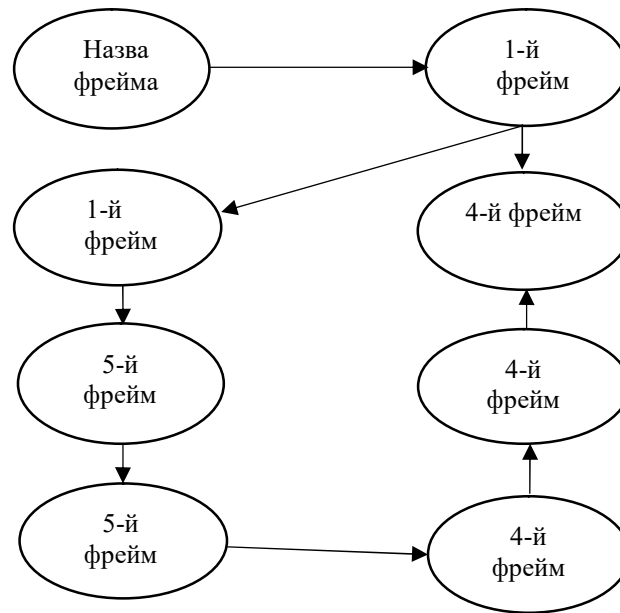


Рис. 2. Приклад семантико-фреймової моделі представлення знань

Програмна реалізація моделі може бути виконана з використанням системи управління базами даних MS SQL.

ЕНС мають дві категорії користувачів та два окремі входи, що відповідають різним цілям взаємодії користувачів з ЕНС. Доступ до підсистеми отримання знань має можливість тільки експерт. Вхід у підсистему захищений паролем. У даній підсистемі експерт може доповнювати базу знань новими правилами та модифікувати вже наявні правила в системі. ЕНС здатна відповідати на певні питання. Користувач може вводити параметри для визначення стійкості ланки, яка охоплена одиничним зворотним зв'язком.

### Література

1. **Беляев М. И.,** Гриншкун В. В., Краснова Г. А. Технология создания электронных средств обучения. URL: [http://uu.vlsu.ru/files/Tekhnologija\\_sozdaniya\\_EHSO.pdf](http://uu.vlsu.ru/files/Tekhnologija_sozdaniya_EHSO.pdf).
2. **Голенков В. В.,** Гулякина Н. А., Елисеєва О. Е. Инструментальные средства проектирования интеллектуальных обучающих систем: методическое пособие по курсу «Интеллектуальные обучающие и тренажерные системы» для студентов специальности «Искусственный интеллект». Минск: БГУИР, 1999. 102 с.
3. **Джексон П.** Введение в экспертные системы. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2001. 624 с.
4. **Бурдаев В. П.** Клиент-серверная технология экспертной обучающей системы для сетей Интернет и Интранет. Искусственный интеллект. 2008. №3. С. 364–369.
5. **Костюченко М. П.** Інформаційно-кібернетичні та психолого-дидактичні аспекти проектування експертно-навчальних систем. Искусственный интеллект. 2013. № 4. С. 127–137.
6. **Словак К.** Використання експертних систем під час узагальнення та систематизації у процесі навчання вищої математики. Наукові записки Тернопільського

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Таким чином, розглянуто існуючі моделі представлення знань та з'ясовано область їх ефективного застосування. Аналіз показав раціональність застосування семантико-фреймової моделі подання знань у системі підготовки військових фахівців зі складними логічними зв'язками між їх поняттями та визначеннями. У результаті розроблено приклад семантико-фреймової моделі проектування знань, яку можна використовувати використовувана у системі підготовки військових фахівців.

Подальші дослідження полягають у програмній реалізації ЕНС підготовки військових фахівців.

- національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка. 2011. № 1. С. 141–148.
7. **Петрушин В. А.** Экспертно-обучающие системы. Киев: Наук. думка, 1992. 196 с.
8. **Гогоняц С.Ю.,** Георгадзе О.А., Руденко Є.Г. Архітектура та класифікація експертно-навчальних систем з підготовки військових фахівців. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. 2020. №2. С.133-138.
9. **Гаврилова Т. А.,** Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. Санкт-Петербург: Питер, 2000. 384 с.
10. **Шевчук О. Б.** Педагогічні принципи проектування та розробки експертних систем навчання. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка. 2016. № 1. С. 38–43.
11. **Нейлоп К.** Как построить экспертную систему. Москва: Энергоатомиздат, 1991. 286 с
12. **Minsky M. A.** Framework for representing knowledge. In The Psychology of Computer Vision. McGraw-Hill: P. Winston, 1975. P. 211-277.

**МОДЕЛИ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТНО-ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ  
ПОДГОТОВКИ ВОЕННЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ**

*Спартак Юрьевич Гогоняц (кандидат военных наук, с.н.с.)  
Олег Андреевич Заболотный (кандидат военных наук, доцент)  
Алла Алексеевна Ключко (кандидат педагогических наук, н.с.)  
Евгений Григорьевич Руденко*

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

Современной тенденцией в подготовке будущих военных специалистов является использование нового класса информационных технологий обучения, а именно, экспертно-обучающих систем, основным назначением которых является решение поставленных задач. Выделены основные компоненты экспертно-обучающей системы (ЭОС) база знаний; модуль обучения; модуль извлечения знаний; модуль тестирования; машина вывода; объяснения. ЭОС построена на трех группах базовых принципах: кибернетических - отражают опыт предыдущих исследований систем искусственного интеллекта, ЭОС; педагогических - определяют принципы, на которых строится педагогическое проектирование и применение ЭОС; психологических - определяют исходные положения и понимание психики слушателя, на которых основываются процессы проектирования и использования ЭОС в профессиональной подготовке будущих военных специалистов. Представлена структура ЭОС, которая состоит из интерпретатора (обеспечивает последовательность реализации правил для решения конкретной задачи) базы данных и знаний (состоит из фактов и правил предметной области) подсистем объяснений (позволяют слушателю получить ответ на вопрос: «Почему система принимает такое решение?»); интеллектуального редактора базы знаний (предназначен для модификации имеющихся правил и добавления новых) интерфейса. Проанализированы существующие модели представления знаний экспертно-обучающей системы подготовки военных специалистов: модель, основанная на использовании фреймов; логическая модель; модель, основанная на использовании правил (продукционная модель); модель семантической сети. Показано области эффективного применения рассмотренных моделей. Анализ показал рациональность применения семантико-фреймовой модели представления знаний в системе подготовки военных специалистов со сложными логическими связями между их понятиями и определениями. Продемонстрировано пример построения ЭОС с выбором комбинационной, а именно семантико-фреймовой модели представления знаний. Выделены особенности семантико-фреймовой модели представления знаний: понятие, категории, объекты представлены в виде фреймов, связь между фреймами в виде семантической сети. Программная реализация модели может быть выполнена с использованием системы управления базами данных MS SQL. Использование ЭОС такой модели приобретает особое значение в процессе решения сложных и проблемных ситуаций в процессе подготовки военных специалистов.

**Ключевые слова:** информационные технологии, экспертно-обучающая система, фрейм, слоты, семантико-фреймовая модель.

**MODELS OF KNOWLEDGE DESIGN OF EXPERT TRAINING SYSTEM FOR MILITARY  
SPECIALISTS**

*Spartak Hohoniants (candidate of military sciences, senior researcher)  
Oleg Zabolotny (candidate of military sciences, associate professor)  
Alla Klochko (candidate of pedagogical sciences, research assistant)  
Evgeny Rudenko*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine*

The current trend in the training of future military specialists is the use of a new class of information technology training, namely, expert training systems, the main purpose of which is to solve problems. The main components of the expert training system (ESS) are identified: knowledge base; training module; knowledge extraction module; testing module; output machine; explanation. ENS is based on three groups of basic principles: cybernetic - reflect the experience of previous studies of artificial intelligence systems, ENS; pedagogical - determine the principles on which the pedagogical design and application of ENS is based; psychological - determine the initial positions and understanding of the psyche of the listener, which are based on the processes of design and use of ENS in the training of future military professionals. The structure of ENS, which consists of an interpreter (provides a sequence of rules for solving a specific problem) database and

*knowledge (consists of facts and rules of the subject area) of explanation subsystems (allows the student to get an answer to the question: "Why does the system make such a decision?"); intelligent knowledge base editor (designed to modify existing rules and add new ones) interface. The existing models of knowledge representation of the expert-training system of military specialists training are analyzed: a model based on the use of frames; logical model; model based on the use of rules (production model); semantic network model. Areas of effective application of the considered models are shown. The analysis showed the rationality of the application of the semantic-frame model of knowledge representation in the system of training military specialists with complex logical connections between their concepts and definitions. An example of construction of ENS with the choice of combinational, namely semantic-frame model of knowledge representation is shown. Features of the semantic-frame model of knowledge representation are highlighted: concepts, categories, objects are presented in the form of frames, connection between frames in the form of a semantic network. The software implementation of the model can be performed using the MS SQL database management system. The use of such a model is especially important in the process of solving complex and problematic situations in the process of training military specialists.*

**Key words:** *information technologies, expert-educational system, frame, slots, semantic-frame model.*

### **References**

- 1. Belyaev M. I.,** Grinshkun V. V., Krasnova G. A. Technology of creating electronic learning tools. URL: [http://uu.vlsu.ru/files/Tekhnologija\\_sozdaniya\\_EHSO.pdf](http://uu.vlsu.ru/files/Tekhnologija_sozdaniya_EHSO.pdf).
- 2. Golenkov V. V.,** Gulyakina N. A, Eliseeva O. E Tools for designing intelligent learning systems: a manual for the course "Intelligent learning and training systems" for students majoring in "Artificial Intelligence". Minsk: BGUIR, 1999. 102 p.
- 3. Jackson P.** Introduction to expert systems. Moscow: Williams Publishing House, 2001. 624 p.
- 4. Burdaev V. P.** Client-server technology of expert training system for Internet and Intranet networks. Artificial intelligence. 2008. №3. Pp. 364–369.
- 5. Kostyuchenko M. P.** Information-cybernetic and psychological-didactic aspects of designing expert-educational systems. Artificial intelligence. 2013. № 4. S. 127–137.
- 6. Slovak K.** The use of expert systems in the generalization and systematization in the process of teaching higher mathematics. Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: pedagogy. 2011. № 1. S. 141–148.
- 7. Petrushin V. A.** Expert-training systems. Kiev: Science. opinion, 1992. 196 p.
- 8. Hogonyants S. Yu.,** Georgadze O. A., Rudenko E. G. Architecture and classification of expert training systems for the training of military specialists. Modern information technologies in the field of security and defense. 2020. №2. P.133-138.
- 9. Gavrilova T. A.,** Khoroshevsky V. F. Knowledge bases of intelligent systems. Санкт-Петербург: Питер, 2000. 384 с.
- 10. Shevchuk O. B.** Pedagogical principles of design and development of expert teaching systems. Scientific notes of Ternopil National Pedagogical University named after Volodymyr Hnatyuk. Series: pedagogy. 2016. № 1. S. 38–43.
- 11. Naylor K.** How to build an expert system. Moscow: Energoatomizdat, 1991. 286 p
- 12. Minsky M. A.** Framework for representing knowledge. In The Psychology of Computer Vision. McGraw-Hill: P. Winston, 1975. P. 211-277

*Юрій Васильович Кравченко (доктор технічних наук, професор)*

*Євгеній Петрович Махно*

*Максим Георгійович Тищенко (кандидат технічних наук)*

*Олександр Олександрович Шапран*

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

## МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ЧАСУ НА ВИКОНАННЯ НАВЧАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ У СИСТЕМІ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

У статті висвітлено дослідження в галузі штучного інтелекту в якості науки, яка займається створенням інтелектуалізованих автоматичних систем. Досліджено аспекти технології створення систем штучного інтелекту, а також розкрито ряд підходів до їх створення. Вказано місце інтелектуалізації адміністрування систем дистанційного навчання. У статті йдеться про перспективи штучного інтелекту, який постійно трансформується, змінюється залежно від нових тенденцій та викликів сьогодення, а також про вбачання шляхів його подальшого розвитку, підходи до вивчення та функціонування. Наразі перспективними напрямками в умовах обмежень освітнього процесу є інтелектуалізація елементів адміністрування та автоматизація певних навчальних компонентів у системах дистанційного навчання. Інтелектуалізація адміністрування у освітньому процесі дасть можливість автоматизувати ряд рутинних, типових завдань, які потребують людських ресурсів і забирають багато часу. Одним з них є планування часу на виконання навчального завдання в системі дистанційного навчання. У статті подано модель інтелектуалізації цього процесу. Це лише перші кроки на шляху до створення потужного штучного інтелекту щодо сфери освіти у військовій галузі.

**Ключові слова:** штучний інтелект; інтелектуалізація; автоматизація; система дистанційного навчання.

### Вступ

Неочікуваний перехід навчальних закладів на дистанційне навчання, зумовлений пандемією, став доволі серйозним випробуванням для всіх учасників освітнього процесу – викладачів, слухачів (студентів, курсантів, ад'юнктів), а також організаторів технічної складової – системи дистанційного навчання.

Подолавши тимчасову розгубленість всім довелося прийняти новий виклик та швидко адаптуватись до нових реалій. За іронією долі питання розвитку дистанційної освіти, що через інертність старої освітньої системи до цього часу перебувало у тіні, набуло неабиякої актуальності.

І хоча дистанційне навчання не може бути повною заміною очного, його теперішній рівень розвитку та майбутні перспективи змогли переконати широке коло скептиків у тому, що воно може стати ефективним інструментом не лише під час карантину.

Дистанційне навчання являє собою нову організацію освіти, що ґрунтується на використанні як кращих традиційних методів отримання знань, так і новітніх інформаційних та телекомунікаційних технологій. Велика увага приділяється принципам самоосвіти. Воно дає змогу впроваджувати інтерактивні технології

викладання матеріалу, здобувати повноцінну вищу освіту або підвищувати кваліфікацію і має широкий спектр переваг:

гнучкість – слухачі (студенти, курсанти, ад'юнкти), які навчаються за дистанційною формою навчання, як правило, не відвідують регулярних занять. Вони працюють у зручний для себе час у комфортному місці та обраному темпі. Кожний може здобувати знання у необхідному йому обсязі для особистого розвитку або певного визначеного рівня;

модульність – кожна окрема дисципліна або ряд дисциплін, які засвоєні слухачами (студентами, курсантами, ад'юнктами), створюють цілісне уявлення про визначену предметну галузь. Це створює можливість формування навчального плану, що відповідає індивідуальним або навчальним потребам тих, хто навчається з переліку незалежних навчальних дисциплін;

паралельність – навчання може здійснюватися у процесі поєднання з основною професійною діяльністю “без відриву” або поєднувати навчання у різних навчальних закладах чи з різноманітними курсами;

віддаленість – відстань до навчального закладу не є перешкодою для ефективного освітнього процесу;

асинхронність – у процесі навчання і викладач, і той, хто навчається, можуть реалізувати технологію навчання й учіння незалежно в часі, по зручному для кожного розкладу і в зручному темпі;

масовість – кількість учасників дистанційної форми навчання і їх доступ до джерел навчальної інформації не є критичним параметром. Вони мають можливість як між особного спілкування так і з викладачем через засоби зв'язку або за допомогою інших засобів інформаційних технологій;

рентабельність – під цією перевагою розуміється економічна виправданість та рівень ефективності дистанційного навчання, що задовольняє потреби.

Важливою складовою дистанційного навчання є його реалізація за допомогою використання інформаційних технологій, а саме систем управління навчанням.

Системи дистанційного навчання (LMS, від англійського - learning management systems) дозволяють провести організацію освітнього процесу з “нульового” (початкового, підготовчого) рівня і відстежувати успішність слухачів (студентів, курсантів, ад'юнктів) за допомогою створення онлайн-курсів або віртуальних класів, доступних у будь-який зручний час і в будь-якому місці, при наявності Інтернету. Навчальні матеріали при цьому можна зберігати в одному місці. Ними зручно користуватися (переглядати, адаптувати) в залежності від цілей навчання і сфери діяльності тих, хто навчається. Без сумніву це зручно та практично.

**Постановка проблеми.** Наразі на інформаційному ринку нараховується більше семисот систем дистанційного навчання. Сучасні системи відрізняються зручним та гнучким інтерфейсом, широкими функціональними можливостями і дозволяють вивести дистанційне навчання на якісно новий рівень.

Поряд з цим існує безліч напрямків у сучасних системах дистанційного навчання, які потребують удосконалення. Одним з таких напрямків є інтелектуалізація певних процесів для вирішення завдань організації, планування та забезпечення освітнього процесу. Безумовно, це дозволить автоматизувати складну, рутинну роботу, підвищити її ефективність та оперативність, створити додаткові зручності користувачам системи дистанційного навчання. Особливої уваги заслуговує інтелектуалізація планування часу на виконання навчального завдання в системі дистанційного навчання Збройних Сил України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження інтелектуалізації та автоматизації процесів у системах дистанційного навчання проводилися й раніше. Особливої актуальності вони набули з підвищенням швидкості обміну інформацією в мережі Інтернет і пов'язаної з цим можливості використання програм для проведення

конференцій та платформ для забезпечення освітнього процесу. Популяризації додали простота доступу та роботи з ними навіть з допомогою засобів мобільного зв'язку.

В [1-3] представлено дослідження з автоматизації системи управління та контролю знань в процесі навчання. Розроблено моделі представлення знань і принципи побудови спеціалізованих баз даних тестових завдань, які дають змогу формувати питання відповідно до рівнів пізнавальної діяльності людини незалежно від семантики предметних галузей. Одержано співвідношення системи нечітких логічних висловлювань для диференціації оцінки результатів комп'ютерного тестування. Установлено залежність мінімальної кількості питань, що забезпечують об'єктивність оцінки результатів тестування у взаємозв'язку з якістю засвоєння навчального матеріалу. Розроблено адаптивну стратегію комп'ютерного тестування, що дає змогу скоротити число питань тесту та зменшити час використання ресурсів мережі для керування та контролю знань.

Дослідження методів побудови сервісо-орієнтованих систем автоматизації електронного навчання представлено в роботах [4-5]. Розроблено програмну модель системи автоматизації освітнього процесу для вирішення задач керування навчальними програмами, фундаментальної підтримки компонентів на рівні прикладного інтерфейсу та середовища функціонування. Запропоновано нову програмну модель системи автоматизації освітніх процесів, ключовими характеристиками якої є наявність базової функціональності навчального середовища, технологічної та платформної незалежності функціонування, використання відкритих інтерфейсів та алгоритмів взаємодії для інтеграції з існуючими системами автоматизації освітніх процесів. Здійснено програмну реалізацію розробленої моделі, яка включає функціональне середовище (framework) та програмний API. Реалізацією моделі є сервісо-орієнтована програмна система "University Learning Directory", що завдяки розробленим алгоритмам взаємодії з гетерогенними компонентами інтегрується з системою Microsoft Class Server та розширює функціональність за допомогою автоматизації процесів тестування та перевірки знань.

Досліджено засоби, моделі та технологію автоматизованого групового навчання. Обґрунтовано доцільність побудови інформаційних навчальних комплексів (ІНК) на базі одного класу IBM PC, до якого приєднуються робочі місця учнів. Показано координованість системи та безконфліктність її функціонування. Побудовано адаптивно-параметричну модель навчання. Описано технологію розробки комп'ютеризованих навчальних курсів і розроблено пакет програм управління, який дозволяє автоматизувати основні функції



управління процесом групового навчання. Надано рекомендації для проектування інтегрованого середовища комп'ютеризованих навчальних курсів. На базі побудованих моделей запропоновано загальну технологію автоматизованого групового навчання під управлінням викладача. Розроблено мультиконсольну інформаційну систему, яка базується на застосуванні таймерної технології, та встановлено, що екологічні характеристики таймерних ІНК є безпечними для здоров'я користувачів.

Проведено роботу над Інформаційною технологією автоматизованого навчання та контролю знань в управлінні освітнім процесом [6-7]. Розроблено тривірневу математичну модель інформаційного середовища вищих закладів освіти (ВЗО), структура якого задається двома компонентами - інформаційним середовищем системи управління навчанням та інформаційним середовищем системи управління ВЗО. Виділено елементи та запропоновано визначення основних понять інформаційного середовища системи управління навчанням, в якій виділено три рівні представлення інформації - інформаційні середовища системи управління навчанням, середовища системи управління процесом, процесу та суб'єктів навчання. Розроблено математичну модель оптимальної взаємодії у тривірневому інформаційному середовищі системи управління навчанням. Запропоновано метод та алгоритм виділення інформаційних об'єктів системи управління навчанням, наповнення яких доцільно виконувати у процесі автоматизованого навчання та контролю знань. Запропоновано структуру інформаційної технології створення у процесі автоматизованого навчання та контролю знань інформаційного ресурсу системи управління навчанням.

Розроблено інформаційну технологію побудови автоматизованої системи управління освітнім процесом [8-9]. Запропоновано методи організації інформаційних засобів, що передбачають використання логіко-математичних моделей циклового освітнього процесу, які дають змогу розв'язувати задачі оцінювання системи навчання та автоматизувати управління процесом навчання в освітніх закладах. Розроблено методи аналізу процесу навчання, що базуються на логічних, математичних процедурах в інформаційних технологіях синтезу систем автоматизованого управління навчання і забезпечують можливість здійснювати оцінювання рівня якості надання освітніх послуг не тільки в періоди екзаменаційних сесій, але й у довільні моменти функціонування цього процесу. Уперше обґрунтовано методи аналізу непередбачуваних подій, що виникають у процесі навчання, які базуються на ланцюгах скінчених графів і дерев рішень та є основою під час вибору стратегій проведення даного процесу. Розглянуто метод

організації взаємодії учасників освітнього процесу та автоматизованої системи управління навчанням у межах локальної інформаційної мережі для ефективного управління навчанням. Розроблено методи контролю процесу навчання з використанням інтелектуальних тестів і логічних класифікаторів знань, що дають змогу формувати та реалізувати управляючі дії стосовно складових освітнього процесу з метою забезпечення заданого алгоритму функціонування.

Проведено роботу над математичним та програмним забезпеченням систем дистанційного мережевоцентричного навчання [10]. Розроблено математичне та програмне забезпечення систем дистанційного навчання, реалізованих з урахуванням мережевоцентричних технологій. Розроблено формалізовані моделі, а саме: дистантного навчального матеріалу з урахуванням ієрархічних рівнів у вигляді І/АБО-графа, для якого запропоновано ефективні алгоритми обходу; тестових завдань, еталонних відповідей викладача, що дозволило підвищити ефективність процесу навчання. Розроблено ефективні алгоритми формування та структурування навчального матеріалу, враховуючи пріоритет структурних одиниць навчального матеріалу та результати тестування дистантного слухача (ДС), що дозволило індивідуалізувати освітній процес. Розроблено методи й алгоритми авторизації, які дозволяють користувачу одержати віддалений доступ до розподілених навчальних ресурсів залежно від його повноважень. Розроблено загальну архітектуру дистанційного мережевоцентричного навчання, яка базується на використанні парадигми мережево-центричності та моделі ДС, що дало змогу адаптовувати освітній процес для кожного ДС і забезпечити функціонування у режимі віддаленого доступу.

Досягнуто результатів у напрямку розробки математичних моделей процесу інформаційного обміну в системах дистанційного навчання [11]. Розроблено методи ідентифікації користувачів та математичні моделі й алгоритми оптимізації ситуаційних пріоритетних стратегій управління інформаційним обміном у системах дистанційного навчання. Зазначено, що запропоновані математичні моделі, методи й алгоритми дозволяють суттєво поліпшити економічні показники функціонування сучасних комп'ютеризованих систем дистанційного навчання, а також підвищити ефективність обслуговування користувачів цих систем.

Розроблено метод побудови програмного забезпечення систем дистанційного навчання [12]. У контексті вивчення особливостей безперервної професійної освіти досліджено методи, форми, принципи, системи та технології дистанційного навчання. Проаналізовано сучасний стан інженерії програмного забезпечення (ПЗ). З урахуванням одержаних результатів розроблено метод побудови ПЗ систем дистанційного навчання

(СДН) на підставі використання принципів багаторівневого представлення, шаблонування та квантифікації. Запропоновано модель рівня бізнес-логіки та комплексний набір метрик, який забезпечує аналіз навчального контексту в дидактичному, навігаційному та оформлювальному аспектах. На підставі дослідження існуючих підходів і моделей шляхом застосування архітектурних стилів, методу Attribute Drive Design та атрибутів якості архітектури ПЗ розроблено архітектуру ПЗ СДН та шаблони її реалізації. Розроблено архітектуру ПЗ для виконання метричного аналізу ПЗ СДН (навчального контенту). Створено шаблони та методику реалізації основних форм навчальних матеріалів (лекції, лабораторних і практичних робіт), які апробовано на прикладі конкретного контенту. Здійснено реалізацію ПЗ СДН на підставі запропонованого методу його побудови в Національному авіаційному університеті на кафедрі інженерії програмного забезпечення у освітньому процесі другої вищої освіти.

Досліджено питання інтелектуального автоматизованого контролю знань в системах дистанційного навчання. Були проаналізовані існуючі методи і моделі, що дозволяють побудувати так звану інтелектуальну автоматизовану систему контролю знань. Реалізація методів адаптивного тестування, використання нечіткої логіки і інженерії знань дозволить досягти високих результатів в цій області.

Звичайно ж це лише декілька прикладів, які засвідчують наявність та безперервність процесу пошуку й постійного вдосконалення науковцями наявних систем дистанційного навчання шляхом інтелектуалізації їх окремих елементів. Запити на вирішення нових завдань виникають постійно. Таку необхідність викликає неспинний прогресивний розвиток людства та, як наслідок, поява нових потреб. Разом з цим змінюються вимоги до сучасних інформаційних інтелектуальних систем.

**Мета статті.** Враховуючи сучасні потреби і вимоги метою статті є висвітлення підходів щодо вирішення завдань інтелектуалізації освітніх процесів у сфері освіти щодо системи дистанційного навчання. Аналіз існуючих джерел на наявність та глибину досліджень визначеного напрямку. Аналіз варіантів вирішення завдання різними методами. Створення моделі інтелектуалізації планування часу на виконання навчального завдання у системі дистанційного навчання.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Одним із цікавих завдань цього спектру, що заслуговує уваги є розробка моделі інтелектуалізації планування часу на виконання навчального завдання у системі дистанційного навчання.

Існує декілька методів, що заслуговують уваги для вирішення цього завдання.

Початок класичного евристичного підходу до вирішення інтелектуальних задач відбувся на початку 60-х років при цьому основний акцент був зроблений на планування цілеспрямованих дій. Першою інтелектуальною програмою стала розроблена Ньюеллом, Саймоном і Шоу програма Логік-Теоретик, за допомогою якої можна було доводити теореми математичної логіки. Ідеологія нового підходу полягала в породженні різноманітних здогадок та припущень з подальшою перевіркою їх справедливості.

Цей напрямок почав розвиватися і був пов'язаний з програмою "Загальний вирішувач задач" (GPS - General Problem Solver) (інша назва - "Універсальний вирішувач задач"). Пропонувалися певні принципи розв'язання задач з довільної предметної області. Підхід ґрунтувався на розгляді ситуацій, що виникають при вирішенні задач, та операторів, які можуть змінювати ці ситуації. Методика GPS передбачає аналіз цілей та наявних засобів для їх досягнення. Аналіз цілей випливає з аналізу розбіжностей між поточною та бажаною ситуаціями.

Схема прийняття рішення:

1. Проаналізувати поточну ситуацію.
2. Порівняти ситуацію з бажаною, якщо відмінності відсутні - кінець роботи.
3. З'ясувати, який оператор або оператори можна застосувати для зменшення різниці, що існує.
4. Послідовно застосовувати оператори, знайдені на кроці 3, доки один з них не спрацює.
5. Повернутися на крок 1.

Ця проста схема, не залежить від конкретної предметної області та в принципі може бути застосована до вирішення будь-якої задачі. На першому етапі необхідно зафіксувати перелік можливих відмінностей між поточною та бажаною ситуаціями та перелік операторів, які можуть ліквідувати ці відмінності.

Ключовим поняттям при використанні "Універсального вирішувача задач" є евристична таблиця, або, як її ще називають, таблиця відмінностей. Її рядки відповідають типам відмінностей, а стовпці - різним операторам. Якщо даний оператор може бути застосованим для зняття даного типу розбіжностей, в клітині перетину рядка і стовпця ставиться одиниця, в іншому випадку ставиться нуль.

При розвитку і вдосконаленні ідеї GPS стало зрозуміло, що при прийнятті рішень необхідно брати до уваги і інші характеристики конкретної задачі, наприклад, причинно-наслідкові зв'язки. Можливість застосування GPS була продемонстрована на ряді порівняно простих задач. Проте процедура виявилася не настільки універсальною. В реальних ситуаціях кількість типів відмінностей та можливих операторів може бути надто великою.

Інший клас задач прийняття рішень можна сформулювати у вигляді класичної оптимізаційної задачі. Тобто знайти рішення, на якому деяка цільова функція досягає свого максимуму при заданих обмеженнях. Так, наприклад, керівник фірми має бажання максимізувати свій дохід, не порушуючи при цьому закони.

Формальніше оптимізаційну задачу можна подати в такому вигляді:

Знайти  $x = (x_1, \dots, x_n)$ , при якому функція  $f(x)$  досягає максимуму, але задовольняються обмеження  $g_i(x) \geq 0$ .

Функція  $f(x)$  називається цільовою функцією, а функції  $g_i(x)$  - обмеженнями оптимізаційної задачі.

Будь-який елемент  $x$  який задовольняє обмеженням  $g_i(x) \geq 0$ , називається припустимим рішенням задачі. Якщо умова максимізації не ставиться, то ми говоримо про задачу пошуку припустимих рішень. Ця задача має велике значення для теорії та практики штучного інтелекту.

Якщо обмеження відсутні то йдеться про безумовну оптимізацію.

Умова максимізації цільової функції ніяк не звужує загальності умов. Якщо треба вирішити задачу мінімізації функції  $g(x)$ , ми в будь-який момент можемо поміняти знак цієї функції і вирішувати задачу максимізації функції  $h(x) = -g(x)$ .

Втім, не будь-яка інтелектуальна задача припускає очевидне зведення до оптимізаційної, оскільки часто не вдається записати в явному вигляді цільову функцію або обмеження.

Наступний очевидний і досить універсальний метод вирішення оптимізаційних задач, який можна застосувати, якщо множина припустимих рішень  $M$  обмежена (компактність для більшості практичних ситуацій не є необхідною). Це метод повного перебору. Він полягає у переборі всіх можливих варіантів. Метод дає гарантоване рішення, якщо множина  $M$  скінченна (ситуація, характерна для дискретного програмування), а також існує ефективний алгоритм породження будь-якого елемента з  $M$  та обчислення на цьому елементі цільової функції. Якщо ж множина припустимих рішень являє собою континуум, слід використовувати сіткову апроксимацію.

Таким чином, ми маємо справу з типовою загальноінтелектуальною процедурою. Якщо інтелектуальна система потрапляє в нову ситуацію і намагається планувати подальші дії, вона може спробувати звести задачу планування цілеспрямованих дій до оптимізаційної задачі. Для цього, достатньо визначити множину припустимих рішень  $M$  і цільову функцію  $f(x)$ . Якщо це вдається, повний перебір варіантів у більшості випадків дозволить отримати оптимальне рішення.

Але повний перебір має значний недолік: для більшості практичних ситуацій кількість варіантів, які доводиться перебирати, надто велика, і реалізувати метод за короткий, прийнятний час є

неможливим. Тому основною задачею класичної теорії дослідження операцій слід вважати пошук більш ефективних методів вирішення оптимізаційних задач.

У питаннях теорії і практики інтелектуальних систем слід звернути особливу увагу на три аспекти:

далеко не завжди слід шукати найоптимальне рішення. Часто достатнім є рішення субоптимальне або навіть просто припустимим;

зведення інтелектуальної задачі до оптимізаційної також є самостійною задачею, яка заслуговує на особливу увагу;

розвинені системи штучного інтелекту мають в процесі самонавчання самостійно виробляти методи вирішення оптимізаційних задач.

Широкий спектр практичних задач може бути вирішено на основі процедури, яка носить назву евристичного пошуку. Евристичним пошуком прийнято називати процедуру систематизованого перебору на основі послідовного прийняття рішень.

Загальна схема евристичного пошуку:

1. Вибрати деяку дію з області можливих дій.
2. Здійснити дію; це призведе до зміни ситуації.
3. Оцінити нову ситуацію.
4. При досягненні успіху - кінець; якщо ні - повернутися на крок 1 і почати спочатку.

Зокрема, "Загальний вирішувач задач" можна розглядати як одну з можливих реалізацій евристичного пошуку.

Евристичний пошук часто розглядається як пошук шляху на дереві або на графі. Розглянемо типову схему вирішення задачі, згідно з якою на кожному кроці можна вибирати одну з можливих дій. Звідси можна говорити про створення дерева можливостей, вузли якого відповідають ситуаціям проблемної області, а дуги - можливим діям. Тоді задача переходу від початкової ситуації до бажаної зводиться до задачі пошуку шляху на дереві. Аналогічно виникає і графова інтерпретація.

Основні алгоритми пошуку на дереві.

Серед різноманітних методів, за допомогою яких можна організувати пошук потрібної вершини на дереві, а відтак і шляху до неї, прийнято виділяти дві основні стратегії:

- пошук в ширину;
- пошук в глибину (інші назви - перебір з поверненнями; бектрекінг).

Алгоритм пошуку в ширину передбачає аналіз на кожному кроці "синів" усіх вершин, що були проаналізовані до цього (в інтерпретації прийняття рішень це означає паралельну перевірку усіх можливих альтернатив).

Алгоритм пошуку в глибину передбачає першочерговий аналіз нащадків тих вершин, що були проаналізовані останніми. Це означає, що всі альтернативи аналізуються послідовно, одна за одною. Аналіз певної альтернативи завершується лише тоді, коли вдається остаточно встановити, призводить вона до успіху чи ні. Якщо ж

альтернатива призводить до невдачі, відбувається повернення і розгляд інших альтернатив.

Пошук в ширину, як і пошук в глибину при досить загальних умовах мають, експоненційну оцінку часової складності. Можна навести ряд прикладів, коли перебір в ширину дозволяє виграти час порівняно з перебором в глибину і навпаки. В свою чергу, пошук в глибину дозволяє зекономити пам'ять, оскільки при її реалізації немає необхідності запам'ятовувати все дерево. Достатньо зберігати в пам'яті лише вершини, що мають відношення до поточної альтернативи.

На практиці процедура пошуку в глибину набула значно більшого поширення. Можна стверджувати, що перебір з поверненням став класичною загальноінтелектуальною процедурою, що лягла в основу сучасних методик планування цілеспрямованих дій, програмування ігор, автоматизованого доведення теорем тощо.

Наступний клас "Жадібні алгоритми" належать до класичних методів дослідження операцій. Їх застосування, як правило, дозволяє уникнути експоненційного зростання складності задачі.

Алгоритм вирішення певної задачі називається жадібним, якщо на кожному кроці він намагається якнайближче підійти до мети. Іншими словами, жадібний алгоритм - це алгоритм, який заради негайного наближення до мети жертвує перевагами, що можуть мати місце в перспективі.

Якщо множина рішень, які допускаються являє собою деяку область  $n$ - простору, що вимірюється, а цільова функція є диференційованою, жадібні алгоритми називаються градієнтними. Припустимо, що є деяке наближення до оптимального рішення. Сутність градієнтних методів полягає в тому, що для найшвидшого досягнення максимуму необхідно рухатися до нього по найбільш крутому схилу. Тобто на кожному кроці намагаються наблизитися до мети якнайшвидше. Математично це означає, що необхідно рухатися в напрямку градієнта цільової функції. Але жадібні алгоритми не дозволяють досягти оптимального рішення, оскільки вони досягають не глобального максимуму цільової функції, а лише локального.

Задачі планування цілеспрямованих дій прийнято розподіляти на два класи: планування в просторі станів (SS-проблема) та планування в просторі задач (PR-проблема).

При плануванні в просторі станів заданим вважається певний набір станів (ситуацій). Опис кожної ситуації складається з опису стану як зовнішнього світу, так і самої інтелектуальної системи. Відомі дії, які може здійснювати система, а також ті, що визначають перехід з одного стану до іншого. Проблема полягає у пошуку шляху від початкового стану до одного з кінцевих. Бачимо, що у такій постановці, задачу планування цілеспрямованих дій можна уявляти собі як задачу пошуку шляху з однієї вершини до іншої на певному графі. Отже, після того, як зведення

задачі до формальної моделі проведено, можна використовувати вже відомі алгоритми пошуку шляхів на графах (алгоритми Мура, Дейкстри, гілок та кордонів і т.п.).

Графом станів задачі називається орієнтований граф, вершини якого відповідають можливим станам предметної області, а дуги - методам переходу від стану до стану.

Також дуги можуть мати мітки, які інтерпретуються як вартість або довжина відповідного переходу. Звідси вирішення задачі являє собою пошук шляху від початкового стану до цільового. При цьому типовою є вимога оптимізації цього рішення, тобто пошуку найкоротшого шляху. Для цього існують обмежуючі правила та евристики, які використовуються як засіб скорочення перебору.

Як відомо, повний перебір або перебір з поверненням дозволяє у деяких випадках прийняти певні рішення. Але часто реалізація цих методів забирає дуже багато часу і тому є майже неможливою чи недоцільною. Тому в таких ситуаціях прийнято вдаватися до обмежуючих правил та евристик як до типових засобів скорочення перебору. Саме таким чином у більшості випадків діє людина при плануванні своїх дій.

Обмежуючим правилом при плануванні цілеспрямованих дій називається правило, якому мають бути підпорядковані альтернативні дії, що розглядаються.

Тобто, застосування обмежуючих правил дозволяє включати до перебору не всі можливі дії, а лише ті, які не суперечать цим правилам. Це у більшості випадків дозволяє різко скоротити перебір, а інколи навіть звести задачу до поліноміальної. Зокрема, описані вище жадібні алгоритми можна розглядати як застосування обмежуючих правил. Природа обмежуючих правил може бути різноманітною. Інколи обмежуюче правило дозволяє відкинути завідомо безперспективні гілки і досягти того ж результату, що й повний перебір. Часом це дає можливість в разі пришвидшити виконання завдання. Такі правила є теоретично обґрунтованими і безумовно повинні мати своє застосування.

Але частіше доводиться зустрічатися з ситуацією, коли обмежуючі правила спираються на наявний апріорний досвід, але без теоретичного обґрунтування. Вони не гарантують або просто не дозволяють отримати оптимальне рішення. Застосування цих правил дозволяє скоротити перебір, але за рахунок втрати гарантованої оптимальності. Власне, у багатьох випадках нічого кращого і не залишається. Саме такі правила і називаються евристичними.

Евристикою при плануванні цілеспрямованих дій називається обмежуюче правило, яке спирається на наявний досвід і не гарантує оптимальності рішення.

Повертаючись до теми статті на першому етапі

необхідно визначити функції (завдання) системи дистанційного навчання, які необхідно інтелектуалізувати (вирішувати на основі методів штучного інтелекту).

Наразі в системі дистанційного навчання є багато завдань, які потрібно інтелектуалізувати, але найважливішим завданням цієї системи є розрахунок оптимального дедлайну для будь-якого завдання на основі багатьох характеристик. В нашому випадку ключовим є час, який має студент (слухач) на виконання завдання. Тобто, система повинна визначати оптимальний термін здавання для кожного завдання, що завантажив викладач. Для цього система повинна аналізувати завантажене завдання та порівнювати зі складністю та терміновістю інших завдань цього виду. Потім на основі статистики здавання завдань, які мають подібну складність та терміновість, визначити оптимальний дедлайн. А в подальшому коректувати оптимальний дедлайн на основі поточного прогресу всіх студентів (слухачів). Якщо завдання складніше ніж інші цього виду, то система повинна визначити дедлайн на основі статистики здавання кількох завдань різних видів складності, які в сумі дають складність цього завдання.

На наступному етапі необхідно розробити для окремої функції або групи функцій "Загальний вирішувач задач".

1. Аналіз складності роботи.
2. Аналіз терміновості роботи.
3. Врахування часу, який вказав викладач.
4. Порівняння зі статистикою та визначення середнього часу, необхідного групі на виконання цього завдання.
5. Визначення дедлайну.
6. Коректування оптимального дедлайну на основі прогресу всіх студентів.
7. Повернутися на крок 4.

Далі зводимо завдання прийняття рішень в системі дистанційного навчання до оптимізаційної задачі. Створюємо відповідну математичну формалізацію.

Нехай:

X1 – час, що відводиться викладачу для перевірки цієї роботи.

X2 – Складність роботи.

X3 – Терміновість роботи.

X4 – Статистика по виконанню цього виду роботи (загальний час виконання подібного завдання).

$F(X1, X2, X3, X4)$  – оптимальний дедлайн разом з часом, який потрібен для перевірки цього завдання.

$F(X4, X2)$  – реальний дедлайн.

За терміновістю сортуємо задачі на три типи:

Не термінові, середньої терміновості, дуже термінові.

За складністю на три види:

Складні, середньої складності, легкі.

Розробляєм цільову функцію та обмеження для

різних класів оптимізаційних задач.

C1 – обмеження по максимально можливому строку здавання роботи.

C2 – обмеження по мінімально можливому строку здавання роботи.

$F(x1, x2, x3) = x1 - (x3 * x4) / x2$ , де  $(x3 * x4) / x2$  – коефіцієнт, який характеризує зменшення часу на виконання задачі.

Далі за допомогою програми Matlab здійснюємо моделювання. Виконуємо завдання практично в Fuzzy Logic Toolbox.

Задаємо поточні змінні та їх тип. Даємо їм назву. Визначаємо діапазон і інтервал змінних. Задаємо функції належності. Даємо ім'я їх термам. Обираємо тип та вводимо параметри поточних функцій належності.

Складність роботи умовно оцінюємо за шкалою від 0 до 10.

Терміновість роботи умовно оцінюємо за шкалою від 0 до 10.

Час на виконання роботи оцінюємо наприклад в годинах за шкалою від 0 до 24.

Час на перевірку беремо сталий 20 хвилин.

Через редактор бази знань формуюмо та модифікуємо нечіткі правила та встановлюємо типи логічних зв'язків між змінними в середині правил. Задаємо значення вагового коефіцієнта правил.

За допомогою GUI-модуля Rule Viewer здійснюємо візуалізацію нечіткого логічного висновку. Цей модуль дозволяє проілюструвати хід логічного висновку за кожним правилом, одержання результуючої нечіткої множини й виконання процедури дефазифікації.

Кожне правило бази знань представляється у вигляді послідовно горизонтально розміщених прямокутників. При цьому перші два прямокутники відображають функції належностей термів посилки правила (частина правила - "Якщо"), а останній третій прямокутник відповідає функції приналежності терму-наслідку вихідної змінної (частина правила - Т). Порожній прямокутник у візуалізації правила означає, що в цьому правилі посилка по змінній відсутня. Жовті заливання графіків функцій належностей вхідних змінних указують наскільки значення входів, відповідають термам цього правила. Блакитні заливання графіка функції належності вихідної змінної являють собою результат логічного висновку у вигляді нечіткої множини за цим правилом. Результуюча нечітка множина, що відповідає логічному висновку за всіма правилами показана в нижньому прямокутнику останнього стовпця графічного вікна. У цьому ж прямокутнику червона вертикальна лінія відповідає чіткому значенню логічного висновку, отриманого в результаті дефазифікації. Тобто знаходження звичайного значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних, яке може бути використане спеціальними пристроями, що не належать до системи нечіткого виведення (Рис. 1).

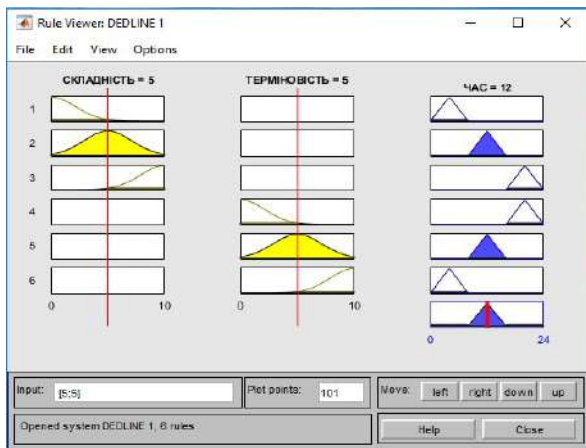


Рис. 1. Графіки функцій належності вхідних і вихідних змінних з середніми вхідними значеннями

Позиціонуючи курсором червоні вертикальні лінії вхідних змінних на визначену позицію можемо змінювати чисельні значення вхідних даних. Нове чисельне значення відповідної вхідної змінної буде перелічено автоматично й виведене у вікно Input. Відповідно автоматично зміниться чисельний результат висновку вихідної змінної, функція належності вихідної змінної, результат логічного висновку у вигляді нечіткої множини, а також результат виконання процедури дефазифікації (Рис. 2).

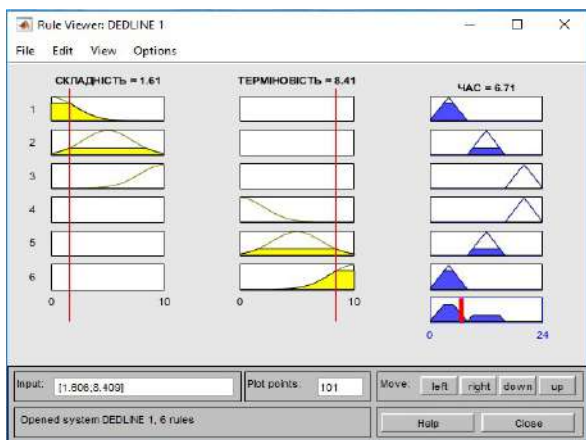


Рис. 2. Графіки функцій належності вхідних і вихідних змінних з визначеними вхідними значеннями

Є можливість візуалізувати поверхні “вхід-вихід” і вивести графічне тривимірне зображення залежності значення будь-якої вихідної змінної від довільних вхідних змінних (Рис. 3).

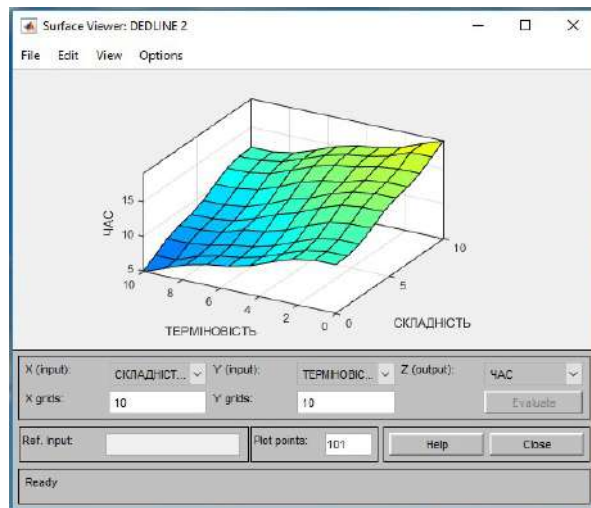


Рис. 3. Графічне тривимірне зображення залежності значення вхідних і вихідної змінних

### Висновки й перспективи подальших досліджень

У рамках дослідження було здійснено моделювання планування часу на виконання навчального завдання у системі дистанційного навчання. Вхідними змінними параметрами були складність завдання і терміновість його виконання. У процесі моделювання було проведено порівняння результатів з різним ступенем складності і терміновості. Виявлено залежність вихідної змінної від зміни вхідних параметрів. Є необхідність включення додаткових критеріїв для отримання більш об'єктивних результатів.

Існує досить широкий спектр методів і підходів для вирішення такого типу задач. Але, переважно всі вони мають певні недоліки, пов'язані з трудоемістю чи затратністю ресурсів. Або передбачають якісь обмеження. На відміну від зазначених варіантів, метод нечітких множин дозволяє досить зручно, швидко, без зайвих затрат здійснити моделювання та інтелектуалізувати задачу.

Напрямами подальших досліджень є визначення додаткових критеріїв, які впливають на планування часу для виконання навчального завдання у системі дистанційного навчання. Також здійснити пошук нових завдань і процесів, які потребують інтелектуалізації у системі дистанційного навчання.

### Література

1. Романишин Ю., Функціональні аспекти адаптивності технологій дистанційного навчання. / Ю. Романишин, Л. Потеряйло // Міжнародна наукова конференція “Інформація, комунікація, суспільство” – 2018. – С. 287–288. 2. М. Kaplan, M. Haenlein, (2016), “Higher education and the digital revolution. vol.59. pp. 23-27 3 Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.06 Автоматизована система управління та контролю знань в процесі навчання / Т.І.

Коджа ; Одес. нац. політехн. ун-т. – О., 2003. – 20 с.: рис. – укр. 4. Автореф. дис. канд. техн. наук: 01.05.03 Дослідження методів побудови сервісно-орієнтованих систем автоматизації електронного навчання / Д.В. Холод ; Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. – К., 2007. – 20 с. – укр. 5. Пукас А.В. Інтелектуалізована система підтримки вивчення іт-дисциплін. / А.В. Пукас, М.П. Голембйовський // СІТ’2020, С. 11–12.

**6. Заблоцький А.Ю.** Модель використання системи підтримки e-learning для розвитку ікт-компетентностей працівників центрів дистанційної освіти університетів / А.Ю. Заблоцький // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2020, – №5, – С. 76–81. **7. Автореф.** дис. канд. техн. наук: 05.13.06 Інформаційна технологія автоматизованого навчання та контролю знань в управлінні навчальним процесом / С.Ю. Катаєва; Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси, 2004. – 18 с. – укр. **8. Автореф.** дис... канд. техн. наук: 05.13.06 Інформаційна технологія побудови автоматизованої системи управління навчальним процесом / М.С. Антоник; Держ. ком. зв'язку та інформатизації України; НАН України; Держ. НДІ інформ. інфраструктури. – Л., 2005. – 20 с.: рис. – укр. **9. Ткаченко О.** Онтологічне моделювання процесів навчання / О. Ткаченко, К. Ткаченко К., М. Боняр // Міжнародна наукова конференція “ІТ-технології в освіті, мистецтві та культурі”, – 2020, – С. 109–118. **10. Автореф.** дис... канд. техн. наук: 01.05.03 Математичне та програмне забезпечення систем дистанційного мережевоцентричного навчання / Р.О. Голошук; Нац. ун-т “Львів. політехніка”. – Л., 2008. – 20 с. – укр. **11. Автореф.** дис... канд. техн. наук: 05.13.06 Математичні моделі процесу інформаційного обміну в системах дистанційного навчання / Я.М. Степанова; Наук.-вироб. корпор. “Київ. ін-т автоматизації”. – К., 2004.

– 16 с. – укр. **12. Jung, I., Nishimura, M., & Sasao, T.** (Eds.) (2016). Liberal arts education and colleges in East Asia: Possibilities and challenges in the global age, Springer. (pp. 27-37). **13. Кравченко Ю. В.** Концепція структурування інформаційного ресурсу системи дистанційного навчання / Кравченко Ю. В., Оксіюк О. Г. // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К. : 2009. – №1 (4). – С. 6–11. **14. Кравченко Ю.В.** Концепція раціонального структурування знань у системі дистанційного навчання. Вища школа. 2015. – №4-5. – С. 76–86. **15. Kravchenko Y., Davidovitch N., Belichenko M.** (2017), Information Resources Usage in Project Management Digital Learning System. Journal of Education and Learning. Published by Canadian Center of Science and Education. Vol. 6, No. 2. pp.146-154. **16. Bondarenko V., Kravchenko Y., Salkutsan, S., Tyshchenko M.** (2020), Synthesis of the structure of multilevel hierarchical systems of increased survivability based on a subjective probability model. [ ], ATIT 2020 – Proceedings 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory, pp. 138–142. **17. Kravchenko Y., Afanasyeva O., Tyshchenko M., Mykus S.** Intellectualisation of decision support systems for computer networks: Production-logical F-inference. CEUR Workshop Proceedings, 2021, vol. 2845, pp. 117–126.

## МОДЕЛЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ ВРЕМЕНИ НА ВЫПОЛНЕНИЕ УЧЕБНОГО ЗАДАНИЯ В СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Юрий Васильевич Кравченко (доктор технических наук, профессор)*

*Евгений Петрович Махно*

*Максим Георгиевич Тищенко (кандидат технических наук)*

*Александр Александрович Шапран*

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

*В статье освещены исследования в области искусственного интеллекта в качестве науки, которая занимается созданием интеллектуализированных автоматических систем. Исследованы аспекты технологии создания систем искусственного интеллекта, а также раскрыт ряд подходов к их созданию. Указано место интеллектуализации администрирования систем дистанционного обучения. В статье говорится о перспективах искусственного интеллекта, который постоянно трансформируется, меняется в зависимости от новых тенденций и вызовов современности, а также о возможных направлениях его дальнейшего развития, подходы к изучению и функционированию. Сейчас, перспективными направлениями в условиях ограниченного образовательного процесса, является интеллектуализация элементов администрирования и автоматизация определенных учебных компонентов в системах дистанционного обучения. Интеллектуализация администрирования в образовательном процессе позволит автоматизировать ряд рутинных, типичных задач, требующих человеческих ресурсов и отнимающих много времени. Одним из них является планирование времени на выполнение учебного задания в системе дистанционного обучения. В статье представлена модель интеллектуализации этого процесса. Это лишь первые шаги на пути к созданию мощного искусственного интеллекта в сфере военного образования.*

*Ключевые слова:* искусственный интеллект; интеллектуализация; автоматизация; система дистанционного обучения.

## THE INTELLECTUALIZATION MODEL OF TIME SCHEDULING FOR PERFORMING A TRAINING TASK IN A DISTANCE LEARNING SYSTEM

*Yurii Kravchenko (Doctor of Technical Sciences, Professor)*

*Yevhenii Makhno*

*Maksym Tyshchenko (Candidate of Technical Sciences)*

*Oleksandr Shapran*

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

The research in the field of artificial intelligence as a science that deals with the creation of intellectualized automatic systems was covered in the article. Aspects investigated technology of artificial intelligence systems, as well as revealed some approaches to their creation were researched. The place of intellectualization of administration of distance learning systems is indicated. The article deals with the prospects of artificial intelligence that is constantly transforming changes depending on emerging trends and challenges of today and about seeing the ways of its further development, approaches to study and functioning. Currently, promising areas within the constraints of the educational process are elements of intellectualization management and automation of certain components of educational systems in distance learning. Intellectualization of administration in the educational process will make it possible to automate a number of routine, typical tasks that require human resources and take a lot of time. One of them is the intellectualization model of time scheduling for performing a training task in a distance learning system. The article presents a model of intellectualization of this process. These are just the first steps towards creating a powerful artificial intelligence in the field of military education.

**Keywords:** artificial Intelligence; intellectualization; automation; distance learning system.

**References**

- 1. Romanyshyn Yu.,** Poteriailo L. (2018), Funktsionalni aspekty adaptyvnosti tekhnolohii dystantsiinoho navchannia, Mizhnarodna naukova konferentsiia "Informatsiia, komunikatsiia, suspilstvo", pp. 287–288.
- 2. M. Kaplan,** M. Haenlein, (2016), "Higher education and the digital revolution. vol.59. pp. 23–27
- 3. Kodzha T.I.** (2003), Avtomatyzovana systema upravlinnia ta kontroliu znan v protsesi navchannia, [avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk], Odessa, 20 p.
- 4. Kholod D.V.** (2007), Doslidzhennia metodiv pobudovy servisno-orientovanykh system avtomatyzatsii elektronnoho navchannia. [avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk], Kyiv, 20 p.
- 5. Pukas A.V.,** Holembiovskiy M.P. (2020), Intelektualizovana systema pidtrymky vyvchennia it-dystsyplin, CIT'2020, pp. 11–12.
- 6. Zabolotskyi A.Yu.** (2017), Model vykorystannia systemy pidtrymky e-learning dliarozvytku ikt-kompetentnosti pratsivnykiv tsentriv dystantsiinoy osvity universytetiv, Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia №5, pp. 76–81.
- 7. Kataieva Ye.Yu.** (2004), Informatsiina tekhnolohiia avtomatyzovanoho navchannia ta kontroliu znan v upravlinni uchbovym protsesom, [avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk], Cherkasy, 18 p.
- 8. Antonyk M.S.** (2005), Informatsiina tekhnolohiia pobudovy avtomatyzovanoi systemy upravlinnia navchalnym protsesom. [avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk], Lviv, 20 p.
- 9. Tkachenko O., Tkachenko K., Boniar M.** (2020), Ontolohichne modeliuвання protsesiv navchannia. Mizhnarodna naukova konferentsiia "IT-tekhnohii v osviti, mystetstvi ta kulturi" pp. 109-118.
- 10. Holoshchuk R.O.** (2008), Matematychni ta prohramne zabezpechennia system dystantsiinoho merezhnevotsentrychnoho navchannia. [avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk], Lviv, 20 p.
- 11. Stepanova Ya.M.** (2004), Matematychni modeli protsesu informatsiinoho obminu v systemakh dystantsiinoho navchannia. [avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk], Kyiv. 16 p.
- 12. Jung, I.,** Nishimura, M., & Sasao, T. (Eds.) (2016). Liberal arts education and colleges in East Asia: Possibilities and challenges in the global age, Springer. pp. 27-37.
- 13. Kravchenko Yu. V.** (2009), Kontseptsiiia strukturuvannia informatsiinoho resursu systemy dystantsiinoho navchannia, Suchasni informatsiini tekhnolohii u sferi bezpeky ta oborony. №1, pp. 6–11.
- 14. Kravchenko Yu.V.** (2015), Kontseptsiiia ratsionalnoho strukturuvannia znan u systemi dystantsiinoho navchannia, Vyshcha shkola. №4-5. pp. 76–86.
- 15. Kravchenko Y.,** Davidovitch N., Belichenko M. (2017), Information Resources Usage in Project Management Digital Learning System, Journal of Education and Learning. Published by Canadian Center of Science and Education. Vol. 6, No. 2. pp.146-154.
- 16. Bondarenko V.,** Kravchenko Y., Salkutsan, S., Tyshchenko M. (2020), Synthesis of the structure of multilevel hierarchical systems of increased survivability based on a subjective probability model, ATIT 2020 – Proceedings 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory, pp. 138–142.
- 17. Kravchenko Y.,** Afanasyeva O., Tyshchenko M., Mykus S. (2021), Intellectualisation of decision support systems for computer networks: Production-logical F-inference, CEUR Workshop Proceedings, vol. 2845, pp. 117–126.



Юрій Євгенович Репіло (доктор військових наук, професор)  
Олег Володимирович Головченко

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## МОДЕЛЬ ВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ АРТИЛЕРІЙСЬКИМИ ПІДРОЗДІЛАМИ ПІД ЧАС ВОГНЕВОЇ ПІДТРИМКИ У ХОДІ ВЕДЕННЯ НАСТУПАЛЬНИХ ДІЙ

Результати аналізу здобутих уроків ведення бойових дій артилерійськими підрозділами в збройному конфлікті на Сході України свідчать, що на цей час актуальними є питання підвищення ефективності ведення ними бойових дій та забезпечення їх живучості. На підставі аналізу способів забезпечення живучості артилерійських підрозділів визначено, що головними у ході ведення бойових дій артилерії були постійне маневрування при призначенні районів очікування (заряджання). Також відомо, що зміст ведення бойових дій артилерійськими підрозділами в наступі становить безперервну вогневу підтримку загальновійськових формувань.

Таким чином, в теорії та практиці ведення бойових дій артилерійськими підрозділами в наступі виникла суперечність між потребою збільшення часу перебування їх на вогневих позиціях залежно від певного обсягу вогневих завдань для безперервної вогневої підтримки військових формувань з одного боку та вимогою зменшення такого часу для здійснення необхідного маневру з метою забезпечення живучості артилерійських підрозділів з іншого.

Метою статті є розробка моделі ведення бойових дій артилерійськими підрозділами під час вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій з урахуванням їх постійного маневрування для забезпечення живучості та перебування в районі очікування (заряджання).

В статті викладено опис моделі ведення бойових дій артилерійськими підрозділами під час вогневої підтримки в наступальних діях. модель є аналітико-стохастичною та описує імовірнісні характеристики ведення бойових дій артилерійськими підрозділами під час вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій з використанням теорії випадкових процесів зі скінченною множиною послідовних перманентних змін їх функціональних станів під впливом чинників зовнішнього середовища та чинників управління в умовах можливого вогневого впливу противника при наявності таких елементів бойового порядку, як райони очікування (заряджання). запропонована модель ведення бойових дій може бути використана для пошуку причинно-наслідкових зв'язків між складовими подібних процесів та обґрунтування рекомендацій щодо забезпечення живучості артилерійських підрозділів під час вогневої підтримки в наступальних діях.

**Ключові слова:** аналітико-стохастичні моделі, марковські випадкові процеси, система диференціальних рівнянь Чепмена – Колмогорова, артилерійські підрозділи, живучість, вогнева підтримка, наступальні дії.

### Вступ

В сучасних умовах та на перспективу до 2030 року успіх ведення наступальних дій військовими формуваннями значною мірою залежатиме від результативної їх вогневої підтримки. Здобуті уроки застосування військ (сил) у збройних конфліктах останнього десятиліття та аналіз доктринальних документів країн – членів НАТО показують, що артилерійські підрозділи (АП) залишаються основним військовим формуванням, здатним забезпечити безперервну вогневу підтримку у ході ведення воєнних дій [1, с. 98; 2, с. 15–18; 3, с. 26; 4, с. 45]. Своєю чергою результати аналізу здобутих уроків ведення бойових дій артилерії в антитерористичній операції свідчать, що досягнення ефективності ведення бойових дій АП неможливе без забезпечення їх живучості. При

цьому, зі здобутих уроків ведення бойових дій артилерії виявлено, що головним способом забезпечення живучості АП для скорочення часу їх перебування на вогневих позиціях було здійснення періодичного маневру та призначення районів очікування (заряджання) [5, с. 27]. Поряд з тим, необхідність безперервної вогневої підтримки військових формувань під час виконання ними оперативних (тактичних) завдань, як головного змісту ведення бойових дій АП в наступі, викликає потребу збільшення часу перебування АП на вогневих позиціях залежно від певного обсягу вогневих завдань.

**Постановка проблеми.** Таким чином, в теорії та практиці ведення бойових дій АП в наступі виникла суперечність між потребою збільшення часу перебування їх на вогневих позиціях залежно від певного обсягу вогневих завдань для

безперервної вогневої підтримки військових формувань з одного боку та вимогою зменшення такого часу для здійснення необхідного маневру з метою забезпечення живучості АП з іншого.

Одним із ключових методів розв'язку зазначеної суперечності в теорії та практиці військового управління є моделювання ведення бойових дій. Математичні моделі, які підпорядковані вирішенню одного з головних завдань управління – прогнозування розвитку збройної боротьби, дають змогу значно скоротити час проведення моделювання й одержати вірогідні результати, які валідні реальному веденню бойових дій артилерійськими підрозділами під час вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Аналіз теоретичних досліджень в теорії військового управління показав, що розв'язок даного завдання можливий із використанням аналітико-стохастичних моделей, які описуються марковськими випадковими процесами з дискретною множиною станів і неперервним часом [6, с. 126–130; 7, с. 90–92; 8, с. 517–519, с. 537–544; 9, с. 151–155; 10, с. 1–46; 11, с. 126–130; 12, с. 90–92]. Результати аналізу останніх досліджень [13, с. 73–80; 14, с. 58–76; 15, с. 107–112] свідчать про певні досягнення щодо розроблення аналітико-стохастичних моделей ведення бойових дій військовими формуваннями ракетних військ і артилерії що задані марковськими випадковими процесами та системою диференційних рівнянь Чепмена – Колмогорова, однак запропоновані аналітико-стохастичні моделі у якості вихідних даних не враховують повний опис і функціонування АП під час вогневої підтримки в ході ведення наступальних дій в сучасних умовах та на перспективу до 2030 року. Зокрема у розробленій математичній аналітико-стохастичній моделі ведення бойових дій самохідної артилерійської батареї, що запропонована в [13, с. 73–80] не передбачено врахування маневрування артилерії необхідного для забезпечення її живучості. В дослідженнях [14, с. 58–76; 15, с. 107–112] під час побудови аналітико-стохастичних моделей ведення бойових дій (бойового застосування) військових формувань ракетних військ і артилерії не передбачалось врахування стану перебування підрозділів в районі заряджання (очікування).

**Мета статті** – розробка моделі ведення бойових дій АП під час вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій з урахуванням їх постійного маневрування для забезпечення живучості та перебування в районі очікування (заряджання).

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

У ході ведення воєнних дій у різних їх видах, основною формою бойового застосування ракетних військ і артилерії є бойові дії. Розглядаючи процес ведення бойових дій військовими формуваннями артилерії в

наступальних діях, можна стверджувати, що головним їх змістом буде забезпечення безперервної вогневої підтримки загальновійськових формувань у ході виконання ними оперативних (тактичних) завдань. Своєю чергою результати аналізу причинно-наслідкових зв'язків досягнення високої ефективності вогневої підтримки таких формувань АП в антитерористичній операції свідчить, що така ефективність неможлива без забезпечення їх живучості. Аналіз пріоритетних тенденцій розвитку артилерійських систем та здобуті уроки ведення бойових дій артилерії в сучасних збройних конфліктах свідчить, що одним із головних способів забезпечення живучості АП є постійне їх маневрування та зменшення часу перебування на вогневій позиції в цілому та тривалості вогневого нальоту зокрема. Здійснення постійного маневру АП з метою їх виведення з-під можливого вогню противника викликає необхідність призначення районів очікування (заряджання). Такий підхід принципово відрізняється від способів ведення бойових дій АП під час вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій у війнах минулого століття.

Представляючи процес ведення бойових дій АП під час вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій доречно сформулювати робочу гіпотезу, яка полягає в тому, що АП можуть перебувати у таких станах:

“перебування артилерійського підрозділу в районі очікування (заряджання)” – виконання підготовчих робіт із заряджання (завантаження боеприпасів) артилерійських систем;

“маневр артилерійського підрозділу на вогневу позицію” – здійснення переміщення з району очікування (заряджання) в район вогневої позиції;

“зайняття артилерійським підрозділом вогневої позиції” – здійснення топогеодезичної прив'язки, переведення з похідного в бойове положення, орієнтування в основному напрямку стрільби (напрямку на ціль);

“виконання артилерійським підрозділом завдань вогневої підтримки” – безпосереднє ведення вогневого нальоту по об'єктам;

“згортання артилерійського підрозділу на вогневій позиції” – залишення артилерійським підрозділом вогневої позиції;

“маневр артилерійського підрозділу в район очікування (заряджання)” – здійснення переміщення із району вогневих позицій в район очікування (заряджання);

“під вогневим впливом противника” – у якому можуть опинитися артилерійські підрозділи у разі здійснення вогневого впливу противника.

Тоді, процес ведення бойових дій АП під час вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій можна подати як послідовна зміна їх функціональних станів під впливом чинників зовнішнього середовища та чинників управління в умовах можливого вогневого впливу противника. Результати аналізу тенденцій ведення збройної боротьби силами і засобами збройних сил країн –

членів Організації договору про колективну безпеку показують, що основний обсяг завдань контрвогню буде покладений саме на військові формування артилерії, які застосовуватимуть як боєприпаси в звичайному спорядженні так і високоточні боєприпаси [16, с. 54–61]. Ця особливість визначає тривалість перебування під вогневим впливом та напряду залежить від норм витрати снарядів по цілях та зворотна від режиму вогню артилерійських систем.

Розглядаючи теоретичні та методологічні аспекти математичного моделювання ведення бойових дій складних систем військового призначення, до яких теж відносяться АП, важливим питанням є розроблення агрегативної схеми моделі процесу. Своєю чергою, при побудові моделей процесів важливим етапом математичного моделювання є вибір головного параметру та визначення закону його розподілу. Головним параметром вважається такий параметр, вилучення якого з функціонування системи зупиняє процес. У зв'язку з цим, для бойових дій АП під час вогневої підтримки, що відбувається протягом певного часу, таким параметром є інтервал часу між однорідними подіями, що фіксують цей розвиток. Наприклад, між моментами початку й закінчення ведення вогню під час вогневої підтримки, завантаженням (зарядженням) боєукладки артилерійської системи (реактивної системи залпового вогню) та зайняттям вогневої позиції для виконання завдань вогневої підтримки.

Вид закону розподілу випадкової величини головного параметру визначає можливість застосування відповідного математичного апарату для побудови моделі й повинен оцінюватися за результатами спостережень реального процесу або із його фізичного розуміння. Відомо [14, с. 63–64], що під час дослідження процесу ведення бойових дій АП найсуперечливішим виявляється показовий закон, що характеризується відсутністю післядії та мінімальною передбачуваністю.

Результати пошуку причинно-наслідкових зв'язків між елементами ведення бойових дій АП як системи показують, що тривалість виконання АП завдань вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій хоч і планується, але є величиною випадковою. Це свідчить про те, що випадковий процес, який моделюється може мати кінцеве або нескінченне число можливих станів  $S_1, S_2, \dots, S_1, \dots, S_n$ , зміна яких відбувається у часі випадковим чином. Перелічені події (настання фактів перебування АП у конкретному стані випадковим чином повторюється у ході бойових дій неодноразово та створює певний потік). Сума цих потоків і визначає тривалість ведення бойових дій АП під час вогневої підтримки.

Оскільки важко визначити перевагу жодного з потоків подій, їх тривалість у сумарному потоці (згідно з теоремою про формування найпростішого потоку) можна вважати розподіленою із достатньою для практики точністю за показниковим законом розподілу випадкової

величини. Показниковий закон розподілу тривалості випадкових подій дає можливість будувати моделі у класі марковських процесів у режимі неперервного часового перебігу і настання певних дискретних станів. З огляду на це можна застосувати метод аналітико-стохастичного моделювання.

Результати аналізу здобутих уроків застосування військових формувань у ході ведення збройної боротьби в сучасних умовах свідчать, що випадковість чинників під час виконання завдань вогневої підтримки в наступальних діях будуть присутні завжди. Хоча планування та управління військовими формуваннями на різних рівнях ієрархії в ході ведення воєнних дій у різних їх формах спрямоване на послаблення чинника “випадковості” і надання цим процесам детермінованого характеру, стохастичну стійкість процесу ведення бойових дій під час вогневої підтримки в ході ведення наступальних дій у цілому навряд можна гарантувати. Отже, для формалізації процесу ведення бойових дій АП під час вогневої підтримки в ході ведення наступальних дій опишемо загальні гіпотези і припущення:

результат ведення бойових дій АП під час вогневої підтримки в ході ведення наступальних дій завчасно невідомий (об'єкти противника та АП можуть бути уражені чи не уражені);

події процесу ведення бойових дій АП під час вогневої підтримки в ході ведення наступальних дій відбуваються в часі як випадкові процеси;

інтервали виконання завдань вогневої підтримки є випадковими і розподілені за показовим законом розподілу імовірнісної величини;

виконання завдань щодо вогневої підтримки в наступальних діях характеризується імовірністю ураження цілей противника –  $P_{en}$ ;

АП можуть бути уражені засобами контрвогню імовірного противника з відповідною імовірністю –  $P_{ур}$ ;

маневр АП у район очікування із займаних позицій здійснюється в межах спланованого району вогневих позицій;

маневр АП із району очікування (зарядження) на вогневу позицію здійснюється у межах спланованого району вогневих позицій;

завантаження боєукладки артилерійських систем (зарядження реактивних систем залпового вогню) здійснюється штатними обслугами.

Враховуючи, що для отримання результатів у межах дослідження реальний процес ведення бойових дій АП під час вогневої підтримки в ході ведення наступальних дій та прийнятих при цьому припущеннях здійснити неможливо, пропонується застосувати процедуру абстрагування від дійсного процесу і здійснити перехід до його формалізації. Тоді, кожен описаний вище стан АП, в якому він може перебувати, відобразимо у вигляді певного вузла на графі станів АП з відповідними його позначеннями. Лініями, що з'єднують ці вузли,

позначимо можливі переходи одного стану АП в інший, які відбуваються з певними інтенсивностями.

Таким чином, процес ведення бойових дій АП під час вогневої підтримки в ході ведення наступальних дій пропонується представити у вигляді графу, який відповідає дискретному марковському процесу (дискретний процес з неперервним часом), який володіє ергодичною (коли математичне сподівання по часових рядах збігається з математичним сподіванням по просторових рядах) властивістю, наведено на рис. 1.

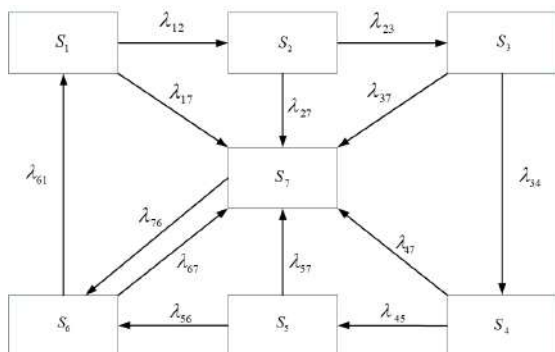


Рис. 1. Граф процесу ведення бойових дій артилерійськими підрозділами під час вогневої підтримки в ході ведення наступальних дій

де  $S_1$  – “перебування артилерійського підрозділу в районі очікування (заряджання)”;

$S_2$  – “маневр артилерійського підрозділу на вогневу позицію”;

$S_3$  – “зайняття артилерійським підрозділом вогневої позиції”;

$S_4$  – “виконання артилерійським підрозділом завдань вогневої підтримки”;

$S_5$  – “згортання артилерійського підрозділу на вогневій позиції”;

$S_6$  – “маневр артилерійського підрозділу в район очікування (заряджання)”;

$S_7$  – “перебування під вогневим впливом противника”.

Як видно з наведеного рисунка, переходи між станами графу відбуватимуться із відповідними інтенсивностями  $\lambda_{ij}$ , що описують властивості ведення бойових дій АП під час вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій. Важливо зазначити, що у разі виявлення військового формування артилерії та здійснення вогневого впливу противником, імовірніше за все АП буде намагатися здійснити маневр з метою забезпечення своєї живучості. А отже перехід до стану  $S_7$  можливий з будь якого стану, а перехід системи із стану “під вогневим впливом противника” необхідно здійснити лише у стан  $S_6$ .

Запропонований граф дає можливість формалізувати процес ведення бойових дій АП в умовах, що розглядаються, та визначити ймовірності перебування їх у конкретних станах залежно від випадкових чинників. При цьому, пропонується цей граф станів описати за допомогою добре відомих та апробованих диференціальних рівнянь Чепмена – Колмогорова, при складанні яких з теорії масового обслуговування можна виділити кілька рекомендацій (мнемонічних правил)

[4, с. 175–177]: перша – похідна  $\frac{dP_i(t)}{dt}$  дорівнює

алгебраїчній сумі стількох членів, кількість яких дорівнює кількості стрілок на графі станів системи, які виходять зі стану  $S_i$  і входять у нього (з’єднують стан  $S_i$  з іншими станами). Якщо стрілка спрямована до стану  $S_i$ , то член беруть зі знаком плюс; якщо стрілка виходить зі стану  $S_i$  – зі знаком мінус; друга – кожен член суми дорівнює добуткові ймовірностей того стану, від якого спрямована стрілка, на інтенсивність потоку подій, який переводить систему по цій стрілці; третя – кількість від’ємних членів дорівнює кількості стрілок, спрямованих зі стану  $S_i$ ; четверта – кількість додатних членів дорівнює кількості стрілок, спрямованих до стану  $S_i$ . Користуючись такими рекомендаціями, можна отримати систему рівнянь такого виду:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda_{12}P_1(t) - \lambda_{17}P_1(t) + \lambda_{61}P_6(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{12}P_1(t) - \lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{27}P_2(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_{23}P_2(t) - \lambda_{34}P_3(t) - \lambda_{37}P_3(t); \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_{34}P_3(t) - \lambda_{45}P_4(t) - \lambda_{47}P_4(t); \\ \frac{dP_5(t)}{dt} = \lambda_{45}P_4(t) - \lambda_{56}P_5(t) - \lambda_{57}P_5(t); \\ \frac{dP_6(t)}{dt} = \lambda_{56}P_5(t) - \lambda_{61}P_6(t) - \lambda_{67}P_6(t) + \lambda_{76}P_7(t); \\ \frac{dP_7(t)}{dt} = \lambda_{17}P_1(t) + \lambda_{27}P_2(t) + \lambda_{37}P_3(t) + \lambda_{47}P_4(t) + \lambda_{57}P_5(t) + \lambda_{67}P_6(t) - \lambda_{76}P_7(t). \end{cases} \quad (1)$$

У системі рівнянь (1) коефіцієнтами  $\lambda_{ij}$  позначено густину потоку подій, що переводять систему зі стану  $S_i$  у стан  $S_j$ . Кожний  $i$ -й стан сукупності  $S = \{S_i, i = 1, 2, \dots, 7\}$  характеризується відповідною імовірністю  $P_i(t)$  перебування в ньому АП у визначений момент часу. Для опису процесу ведення бойових дій АП під час вогневої підтримки в ході ведення наступальних дій залежно від кількості можливих його станів (у нашому випадку – семи) виникає потреба розв'язати систему звичайних диференціальних рівнянь сьомого порядку при початкових умовах:

$$P_1(0) = 1; P_i(0) = 0, i = \overline{2,7}. \quad (2)$$

Отримані наукові результати попередніх досліджень [17, с. 49–56] дають змогу стверджувати, що при 3...5 циклах ведення бойових дій АП дослідження елементів вогневої підтримки в наступальних діях можна проводити у стаціонарному режимі. У стаціонарних режимах процесів усі ймовірнісні характеристики не залежать від часу. Зокрема, у стаціонарного випадкового процесу математичне очікування та дисперсія з функцій аргументу часу  $t$  перетворюється у константи. Щоб знайти ймовірності станів в стаціонарному процесі, прирівнюємо до нуля ліві частини системи рівнянь

(1), тобто  $\frac{dP_i}{dt} = 0$ , для всіх можливих станів ( $i = \overline{1,7}$ ). Для стаціонарного процесу диференціальні рівняння Чепмена – Колмогорова з системи рівнянь (1) перетворюється у систему  $n$ -го порядку однорідних лінійних алгебраїчних рівнянь. З цієї системи визначають значення шуканих ймовірностей  $p_k (k = 1, n)$  з точністю до сталого множника, проте ця невизначеність усувається, якщо долучити нормальну умову (2), яка має місце в будь-який момент часу:

$$\begin{aligned} (\lambda_{12} + \lambda_{17})P_1 &= \lambda_{61}; \\ \lambda_{12}P_1 &= (\lambda_{23} + \lambda_{27})P_2; \\ \lambda_{23}P_2 &= (\lambda_{34} + \lambda_{37})P_3; \\ \lambda_{34}P_3 &= (\lambda_{45} + \lambda_{47})P_4; \\ \lambda_{45}P_4 &= (\lambda_{56} + \lambda_{57})P_5; \\ (\lambda_{61} + \lambda_{67})P_6 &= \lambda_{56}P_5 + \lambda_{76}P_7; \\ \lambda_{76}P_7 &= \lambda_{17}P_1 + \lambda_{27}P_2 + \lambda_{37}P_3 + \lambda_{47}P_4 + \lambda_{57}P_5 + \lambda_{67}P_6. \end{aligned} \quad (3)$$

З системи алгебраїчних рівнянь (3) знаходимо співвідношення, які визначають ймовірності можливих станів перебування АП у процесі їх застосування під час вогневої підтримки в наступальних діях:

$$P_k = m_k P_6, k = \overline{1,5}; P_7 = \frac{1 - m_6}{a_7} P_6. \quad (4)$$

У виразі (4) введено такі позначення:

$$\begin{aligned} m_1 &= a_1; m_2 = a_1 a_2; m_3 = a_1 a_2 a_3; m_4 = a_1 a_2 a_3 a_4; \\ m_5 &= a_1 a_2 a_3 a_4 a_5; m_6 = a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6; \\ a_1 &= \frac{\lambda_{61}}{\lambda_{12} + \lambda_{17}}; a_2 = \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{23} + \lambda_{27}}; a_3 = \frac{\lambda_{23}}{\lambda_{34} + \lambda_{37}}; \\ a_4 &= \frac{\lambda_{34}}{\lambda_{45} + \lambda_{47}}; a_5 = \frac{\lambda_{45}}{\lambda_{56} + \lambda_{57}}; a_6 = \frac{\lambda_{56}}{\lambda_{61} + \lambda_{67}}; \\ a_7 &= \frac{\lambda_{76}}{\lambda_{61} + \lambda_{67}}. \end{aligned}$$

Шляхом відповідних алгебраїчних перетворень у співвідношеннях (4) отримаємо вирази для обчислення шуканих ймовірностей:

$$P_k = \frac{a_7 m_k}{\Delta}, k = \overline{1,5}; P_6 = \frac{a_7}{\Delta}; P_7 = \frac{1 - m_6}{\Delta}. \quad (5)$$

У залежностях (5) позначено:  $\Delta = 1 - m_6 + a_7(m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + 1)$ .

У той же час кожен з можливих станів перебування АП у процесі виконання бойового завдання під час вогневої підтримки в ході ведення наступальних дій характеризується відповідними часовими характеристиками функціонування, а тому, пропонується їх розглядати автономно, оскільки кожен з станів має свій часовий лаг:

момент закінчення перебування АП у районі очікування (заряджання) переводить його зі стану “перебування артилерійського підрозділу в районі очікування (заряджання)” у стан “маневр артилерійського підрозділу на вогневу позицію” з інтенсивністю  $\lambda_{12}$ , яку визначають за таким співвідношенням:

$$\lambda_{12} = 1 / t_{12}, \quad (6)$$

де  $t_{12}$  – час перебування АП у районі очікування (заряджання), що визначається планованою тривалістю їх перебування у визначеному районі з метою забезпечення безперервної вогневої підтримки (часом, необхідним для заряджання реактивних систем залпового вогню, завантаження боеукладки самохідних артилерійських гармат (мінометів), машин підвезення боеприпасів, хв;

момент завершення маневру в район вогневих позицій АП переводить його зі стану “маневр АП на вогневу позицію” у стан “зайняття АП вогневої позиції” з інтенсивністю  $\lambda_{23}$ , яку визначають за таким співвідношенням:

$$\lambda_{23} = 1 / t_{23}, \quad (7)$$

де  $t_{23}$  – час потрібний АП на здійснення маневру з району очікування (заряджання) на плановану вогневу позицію, хв;

момент готовності АП до виконання вогневого завдання у ході вогневої підтримки та переведення його зі стану “зайняття АП вогневої позиції” у стан “виконання АП завдань вогневої підтримки” з інтенсивністю  $\lambda_{34}$ , яку визначають за таким співвідношенням:

$$\lambda_{34} = 1 / t_{34}, \quad (8)$$

де  $t_{34}$  – час розгортання АП на вогневій позиції, хв;

момент закінчення виконання вогневого завдання АП та переведення його зі стану “виконання АП завдань вогневої підтримки” у стан “згортання АП на вогневій позиції” з інтенсивністю  $\lambda_{45}$ , яку визначають за таким співвідношенням:

$$\lambda_{45} = 1/t_{45}, \quad (9)$$

де  $t_{45}$  – час виконання вогневого завдання АП під час вогневої підтримки, хв;

момент закінчення згортання АП на вогневій позиції та переведення його зі стану “згортання АП на вогневій позиції” у стан “маневр АП в район очікування (заряджання)” з інтенсивністю  $\lambda_{56}$ , яку визначають за таким співвідношенням:

$$\lambda_{56} = 1/t_{56}, \quad (10)$$

де  $t_{56}$  – час потрібний на згортання АП на вогневій позиції, хв;

момент завершення маневру АП переводить його зі стану “маневр АП в район очікування (заряджання)” у стан “перебування АП в районі очікування (заряджання)” з інтенсивністю  $\lambda_{61}$ , яку визначають за таким співвідношенням:

$$\lambda_{61} = 1/t_{61}, \quad (11)$$

де  $t_{61}$  – час потрібний АП на здійснення маневру з району вогневих позицій у район очікування (заряджання), хв.

Інтенсивність переходу АП у стан перебування під вогневим впливом противника  $\lambda(\lambda_{17}, \lambda_{27}, \lambda_{37}, \lambda_{47}, \lambda_{57}, \lambda_{67})$ , з якою можливий перехід зі станів  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$  у стан  $S_7$ , визначаємо через відповідні параметри, які обумовлюються часом на викриття АП у відповідному стані, часом на обробку розвідувальних даних, виконанням ним вогневого завдання та імовірністю його виявлення. Інтенсивність переходу АП у стан “перебування під вогневим впливом противника” можна визначити за таким виразом:

$$\lambda = \frac{1}{T_{cf}} P_{tar}^{en},$$

де  $P_{tar}^{en}$  – показник, який характеризує ймовірність викриття АП і корелюється зі станом, у якому він перебуває;  $T_{cf}$  – загальний час, впродовж якого військові формування противника спроможні здійснити контрвогонь щодо ураження артилерійського підрозділу при перебуванні його у стані  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ , хв.

Інтенсивність виходу АП зі стану “перебування під вогневим впливом противника”  $\lambda_{76}$ , яка переводить АП зі стану  $S_7$  у стан  $S_6$ , можна визначити за такою залежністю:

$$\lambda_{76} = 1/t_{76}, \quad (12)$$

де  $t_{76}$  – час вогневого впливу на АП у ході ведення бойових дій, хв.

На основі отриманих залежностей (5) та з урахування співвідношень (6)–(12) виконаємо чисельні розрахунки ймовірностей перебування у відзначених дискретних станах АП, для цього прийемо низку умов, вказаних в табл. 1.

Таблиця 1

Комплекс умов та нормативних параметрів ведення бойових дій артилерійським взводом самохідних гармат 2С3 під час вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій

Найменування параметра	Показник параметра
Тривалість перебування АП у районі заряджання, $t_{12}$	3,5 хв
Тривалість здійснення маневру АП з району заряджання у район вогневих позицій, $t_{23}$	2,5 хв
Тривалість зайняття АП вогневої позиції, $t_{34}$	2 хв 35 с
Тривалість ведення вогневого нальоту під час виконання вогневого завдання АП, $t_{45}$	15 хв
Тривалість залишення АП вогневої позиції, $t_{56}$	1 хв 50 с
Тривалість здійснення маневру АП з району вогневих позицій у район заряджання, $t_{61}$	2,5 хв
Тривалість вогневого впливу, $t_{76}$	3 хв
Імовірність викриття АП у районі заряджання, $P_{tar}^{en}$	0,1
Імовірність викриття АП під час здійснення маневру з району заряджання у район вогневих позицій, $P_{tar}^{en}$	0,2
Імовірність викриття АП під час зайняття вогневої позиції, $P_{tar}^{en}$	0,1
Імовірність викриття АП під час виконання вогневого завдання, $P_{tar}^{en}$	0,9
Імовірність викриття АП під час залишення вогневої позиції, $P_{tar}^{en}$	0,1
Імовірність викриття АП під час здійснення маневру з району вогневих позицій у район заряджання, $P_{tar}^{en}$	0,1

Джерело: розроблено авторами за даними [18, с. 11–25; 19, с. 92–95; 20, с. 27; 21, с. 175–177; 22, с. 256; 23, с. 327–335].

Для проведення дослідження (в умовах наведеного прикладу) прийемо, що параметр загальної тривалості часу, впродовж якого військові формування противника спроможні

здійснити контрвогонь по АП під час вогневої підтримки у ході ведення наступальних дій, дорівнює тривалості перебування його у відповідному стані  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$ .

З урахуванням даних табл. 1, прийнятих умов дослідження та отриманих залежностей (4), (5) визначимо ймовірність перебування артилерійського підрозділу у відповідних станах:

- ймовірність перебування під вогневим впливом противника:  $P_7 = 14,5\%$ ;

- ймовірність перебування у стані маневр з району вогневих позицій до району зосередження:  $P_6 = 13,88\%$ ;

- ймовірність перебування у стані перебування в районі зосередження:  $P_1 = 17,67\%$ ;

- ймовірність перебування у стані маневр до району вогневих позицій:  $P_2 = 10,51\%$ ;

- ймовірність перебування у стані зайняття вогневої позиції:  $P_3 = 9,88\%$ ;

- ймовірність перебування у стані ведення вогню:  $P_4 = 30,2\%$ ;

- ймовірність перебування у стані залишення вогневої позиції:  $P_5 = 3,36\%$ .

Отримані числові значення ймовірностей дозволяють провести оцінювання втрат артилерійських систем за час ведення бою. Математичне сподівання відносної кількості безповоротних втрат  $M_{втрат}$  пропонується визначити як добуток ймовірності перебування у стані виконання завдань вогневої підтримки  $P_4$  та ймовірності ураження  $P_{ур}$ , яка залежатиме від тривалості ведення вогню. Якщо, для прикладу прийняти, що ймовірність ураження від тривалості ведення вогню становить 0,9, тоді математичне очікування відносної кількості безповоротних втрат артилерійських систем самохідного взводу 2С3, який у своєму складі має 3 самохідні гармати, становитиме

$$M_{втрат} = P_4 \times P_{ур} = 0,302 \times 0,9 = 0,2718 .$$

Наступний крок – визначення кількості артилерійських систем, які будуть уражені

### Література

1. Репіло Ю. С., Головченко О. В. Невідповідності у поглядах на підготовку та ведення бойових дій артилерійськими підрозділами в контрастнаступальній операції та можливі шляхи їх усунення. *Труди університету*: зб. наук. пр. Київ: НУОУ імені Івана Черняхівського, 2021. Вип. 1 (164). С. 97–105. 2. FM 3-09 Fire Support and Field Artillery Operations. URL: <https://cutt.ly/7zKWF1u>. 3. STANAG 2484 AARTYP-05 Ed B, *NATO Fire Support Doctrine*: 05 November 2015. 4. Reference Guide Joint Fire Support Handbook for planning & co-ordination Ed 3.2. URL: [https://www.academia.edu/36429094/REFERENCE\\_GUIDE\\_JOINT\\_FIRE\\_SUPPORT\\_Handbook\\_for\\_planning\\_and\\_co\\_ordination](https://www.academia.edu/36429094/REFERENCE_GUIDE_JOINT_FIRE_SUPPORT_Handbook_for_planning_and_co_ordination). 5. Головченко О. В. Здобуті уроки

противником за один цикл вогневої підтримки. Шляхом перемноження математичного очікування безповоротних втрат  $M_{втрат}$  на кількість артилерійських систем, які є у бойовому складі АП (за умовами їх кількість 3 одиниці) отримуємо  $3 \times 0,2718 \cong 0,8$  гармати, тобто за один цикл вогневої підтримки при веденні вогню тривалістю 15 хв. передбачається, що безповоротні втрати підрозділу складатимуть 1 гармати, а при трьох циклах з заданими параметрами самохідний артилерійський взвод буде повністю знищений противником.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Сформовано систему лінійних диференціальних рівнянь зі сталими коефіцієнтами, яка формалізує процес ведення бойових дій артилерійськими підрозділами в умовах, що розглядаються, та дозволяє визначити ймовірності перебування їх у конкретних станах залежно від випадкових чинників. Отримано фінальні ймовірності, які можна трактувати, як середній час перебування системи в окресленому стані.

Таким чином, запропонована модель надає такі можливості для проведення подальших досліджень: визначити, при скількох циклах АП втратить свою боєздатність, тобто можливість вести ефективні бойові дії; оцінювання доцільних відстаней між районами очікування (заряджання), що матимуть безпосередній зв'язок з інтенсивністю виконання вогневих завдань, адже в основі вихідних положень при формуванні моделі була покладена ідея постійного маневрування та варіювання тривалістю перебування в районі очікування (заряджання); раціональної організації процесу поповнення бойової укладки артилерійських систем чи підвозу боєприпасів; встановлення оптимальної тривалості забезпечення безперервної вогневої підтримки загальновійськових формувань.

способів забезпечення живучості артилерійських підрозділів у ході антитерористичної операції (операції Об'єднаних сил). *Українське військо: сучасність та історична ретроспектива*: зб. матеріалів I міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 27 лист. 2020 р.). Київ: НУОУ, 2020. С. 27. URL: <https://nuou.org.ua/nauka/conf/mnprk1-uv-2020.html>.

6. Абчук В. А., Матвейчук Ф. А., Томашевський Л. П. Справочник по исследованию операций / под общ. ред. проф. Ю. В. Чуева. Москва: Сов. радио, 1965. 592 с. 7. Боровков А. А. Вероятностные процессы в теории массового обслуживания. Москва: Наука, 1972. 428 с. 8. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: учебник для вузов. 3-е изд., испр. Москва: Наука, 1964. – 576 с.

9. Панченко Н. Г., Резуненко М. Є. Елементи дослідження операцій в управлінні процесами перевезень: підручник: у 2 ч. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Ч. 2. 314 с. 10. Guzik, Dennis M. A Markov model for measuring artillery fire support effectiveness (Monterey, California : Postgraduate School, 1988). URL: <https://hdl.handle.net/10945/23070> 11. Гогоняц С. Ю., Поліщук С. В. Модель радіолокаційного забезпечення бойових дій угруповання сил і засобів протиповітряної оборони в операціях. Система обробки інформації. Харків : ХНУПС імені Івана Кожедуба, 2016. № 3 (140). С. 126–130. URL: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/16464> 12. Гогоняц С. Ю., Поліщук С. В. Обґрунтування інтенсивностей зміни функціональних станів мобільного радіолокаційного комплексу. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків : ХНУПС імені Івана Кожедуба, 2016. № 3 (24). С. 90–92. URL: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/17183>. 13. Грабчак В. І., Супрун В. М., Заскока А. М., Сокіл Б. І. Аналітична модель ураження артилерійської батареї противника з урахуванням своєчасності її виявлення. Військово-технічний збірник. Львів : АСВ імені Петра Сагайдачного, 2013. № 9. С. 73–80. doi.org/10.33577/2312-4458.9.2013.73-80 . 14. Приміренко В. М. Обґрунтування рекомендацій щодо підвищення ефективності бойового застосування військових частин ракетних військ у сучасних операціях : дис. ... канд. військ. наук : 20.01.01. Київ, 2017. 147 с. 15. Адаменко М. В., Заболотний О. А. Математична модель функціонування органів радіолокаційної розвідки РВіА. Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського. Київ : НУОУ імені Івана Черняхівського. 2018. № 1 (62). С. 107–112. doi.org/10.33099/2304-2745/2018-1-62/107-112 . 16. Golovchenko O. Content-analysis of trends of waging warfare by the army of the armed forces of the Russian Federation. Sciences of Europe. 2020. Vol. 2, No. 58. С. 54–61. URL: <https://www.europe-science.com/archive/> 17. Розвідувально-ударні, розвідувально-вогневі комплекси (принципи побудови в умовах реалізації концепції мережецентричних війн, оцінка ефективності бойового застосування) : монографія / [В. М. Тарасов, Р. І. Тимошенко, О. М. Загорка] ; за заг. ред. В. М. Телелима. Київ : НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2015. 184 с. 18. Збірник нормативів з бойової підготовки для спеціалістів і підрозділів артилерії: затв. наказом Генерального штабу ЗС України від 03.01.2020 № 5. Київ: ГШ ЗС України, 2020. 127 с. 19. Правила стрільби і управління вогнем наземної артилерії (дивізіон, батарея, взвод, гармата): затв. наказом Генерального штабу ЗС України від 05.01.2018 № 6. Київ: ГШ ЗС України, 2018. 268 с. 20. Посібник з вивчення правил стрільби і управління вогнем наземної артилерії (дивізіон, батарея, взвод, гармата): затв. наказом Генерального штабу ЗС України від 03.09.2018 № 532. Київ: КСВ ЗС України, 2018. 278 с. 21. Курс підготовки артилерії Збройних Сил України (бригада, дивізіон, батарея, взвод, гармата) : затв. наказом Генерального штабу ЗС України від 11.03.2020 № 97. Київ: ГШ ЗС України, 2020. 226 с. 22. Правила стрельбы и управления огнем артиллерии. Ч. I. Москва: Воениздат, 2011. 292 с. 23. Пособие по изучению правил стрельбы и управления огнем артиллерии. Ч. I.: Дивизион, батарея, взвод, орудие. Москва: Воениздат, 2011. 354 с.

## МОДЕЛЬ ВЕДЕНИЯ БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ АРТИЛЕРИЙСКИМИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ВО ВРЕМЯ ОГНЕВОЙ ПОДДЕРЖКИ В ХОДЕ ВЕДЕНИЯ НАСТУПАТЕЛЬНЫХ ДЕЙСТВИЙ

Юрий Евгеньевич Репило (доктор военных наук, профессор)  
Олег Владимирович Головченко

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

Результаты анализа полученных уроков ведения боевых действий артиллерийскими подразделениями в вооруженном конфликте на Востоке Украины свидетельствуют, что в настоящее время актуальными являются вопросы повышения эффективности ведения ими боевых действий и обеспечения их живучести. На основании анализа способов обеспечения живучести артиллерийских подразделений определено, что главными в ходе ведения боевых действий артиллерии были постоянное маневрирование при назначении районов ожидания (заряжания). Также известно, что содержание ведения боевых действий артиллерийскими подразделениями в наступлении составляет непрерывная огневая поддержка общевойсковых формирований.

Таким образом, в теории и практике ведения боевых действий артиллерийскими подразделениями в наступлении возникло противоречие между потребностью увеличения времени пребывания на огневых позициях в зависимости от определенного объема огневых задач для непрерывной огневой поддержки военных формирований с одной стороны и требованием уменьшения этого времени для осуществления необходимого маневра с целью обеспечения живучести артиллерийских подразделений с другой.

Целью статьи является разработка модели ведения боевых действий артиллерийскими подразделениями во время огневой поддержки в ходе ведения наступательных действий с учетом их постоянного маневрирования для обеспечения живучести и пребывания в районе ожидания (заряжания).

В статье изложено описание модели ведения боевых действий артиллерийскими подразделениями при огневой поддержке в наступательных действиях. модель является аналитико-стохастической и описывает вероятностные характеристики ведения боевых действий артиллерийскими



подразделениями при огневой поддержке в ходе ведения наступательных действий с использованием теории случайных процессов со конечным множеством последовательных перманентных изменений их функциональных состояний под влиянием факторов внешней среды и факторов управления в условиях возможного огневого воздействия противника при наличии таких элементов боевого порядка, как районы ожидания (заряжания). предложена модель ведения боевых действий может быть использована для поиска причинно-следственных связей между составляющими подобных процессов и обоснование рекомендаций по обеспечению живучести артиллерийских подразделений при огневой поддержке в наступательных действиях.

**Ключевые слова:** аналитико-стохастические модели, марковские случайные процессы, система дифференциальных уравнений Чепмена - Колмогорова, артиллерийские подразделения, живучесть, огневая поддержка, наступательные действия.

## THE MODEL OF COMBATING BY ARTILLERY UNITS DURING FIRE SUPPORT DURING OFFENSIVE ACTIONS

*Yurii Repilo (Doctor of Military Sciences, Professor)  
Oleg Golovchenko*

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

*The results of the analysis of the lessons learned from the conduct of hostilities by artillery units in the armed conflict in eastern Ukraine show that the issues of increasing the effectiveness of their conduct of hostilities and ensuring their viability are now relevant. On the basis of an analysis of the methods of ensuring the survivability of artillery units, it was determined that the main of them during the fighting were constant maneuvering when designating waiting areas (charging). It is also known that the conduct of combat operations by artillery units in the offensive constitutes the continuous fire support of the units.*

*Thus, in the theory and practice of combat actions by artillery units, there have being a contradiction in the offensive between the need to increase the time spent in firing positions depending on the level of firepower required to provide continuous fire support to active units on the one hand, and the requirement to reduce that time necessary maneuver to ensure the survivability of the artillery units on the other hand.*

*The purpose of the article is to develop a model of combat actions of artillery units during fire support in offensive actions, taking into account their constant maneuvering to ensure survivability and stay in the charging (waiting) area.*

*The article describes the model of combat operations by artillery units supported by fire in offensive actions. The model is stochastic and analytical and describes the probability of artillery combat offensive actions with fire support during offensive actions using the theory of random processes with a finite set of successive permanent changes in their functional states due to the influence of environmental factors and control factors under the conditions of possible hostile fire, provided such elements are available on the order of as waiting (charging) areas. The proposed combat actions model can be used to find cause-effect relationships between the components of such processes and to substantiate recommendations for ensuring the survivability of artillery units with fire support in offensive actions.*

**Key words:** analytical-stochastic models, Markov random processes, the system of differential equations of Chapman - Kolmogorov, artillery units, survivability, fire support, offensive actions.

### References

1. Repilo I. Y. and Golovchenko O. V. (2021). Contradiction in preparation and conduct of combat operations by artillery subunits in counter-offensive operation and possible ways of their elimination. [Nevidpovidnosti u pohljadakh na pidghotovku ta vedennja bojovykh dij artylerijskymy pidrozdilamy v kontrnastupalnij operaciji ta mozhyvi shljakhy jikh usunennja], Proceedings of the University, No. 1 (164), pp. 97-105. 2. FM 3-09 Fire Support and Field Artillery Operations (2020), available at: <https://cutt.ly/7zKWF1u> (accessed 24 April 2021). 3. STANAG 2484 (2015). AARTYP-05 Ed B, NATO Fire Support Doctrine: 05 November 2015. 4. Reference Guide Joint Fire Support Handbook for planning & co-ordination Ed 3.2. (2017), available at: [https://www.academia.edu/36429094/REFERENCE\\_GUIDE\\_JOINT\\_FIRE\\_SUPPORT\\_Handbook\\_for\\_planning\\_and\\_co\\_ordination](https://www.academia.edu/36429094/REFERENCE_GUIDE_JOINT_FIRE_SUPPORT_Handbook_for_planning_and_co_ordination) (accessed 24 April 2021). 5. Golovchenko O. V. (2020). Lessons learned on how to ensure the survivability of artillery units during the anti-terrorist operation (Joint Forces operation). [Zdobuti uroky sposobiv zabezpechennja zhyvuchosti artylerijskykh pidrozdiliv u khodi antyterorystychnoji operaciji (operaciji Ob'jednanykh syl)], Ukrainian army: modernity and historical retrospective. Proceedings of the I International Scientific and Practical Conference, Kyiv, November 27, 2020, pp. 27, available at: <https://nuou.org.ua/nauka/confi/mnpk1-uv-2020.html> (accessed 24 April 2021). 6. Abchuk V. A., Matveychuk F. A., Tomashevskiy L. P. (1965). Operations Research Handbook. (Textbook) [Spravochnik po issledovaniyu operatsiy], Moscow. 592 p. 7. Borovkov A. A. (1972). Probabilistic processes in queuing theory,

- (Textbook) [*Veroyatnostnyie protsessyi v teorii massovogo obsluzhivaniya*], Moscow. 428 p. **8. Venttsel E. S.** (1964). Probability theory (Textbook) [*Teoriya veroyatnostey*], Moscow. 576 p. **9. Panchenko N. G.** and Rezenenko M. J. (2015). Elements of operations research in transportation process management. (Textbook) [*Elementy doslidzhennja operacij v upravlinni procesamy perevezennj*], Kharkiv. 314 p. **10. Guzik, Dennis M. A.** (1988). Markov model for measuring artillery fire support effectiveness. available at: <https://hdl.handle.net/10945/23070> (accessed 24 April 2021). **11. Gogoniants S. J.** and Polishchuk S. V. (2016). The model of radiolocal combat supporting group of air defence forces and means in operations. [*Modelj radiolokacijnogho zabezpechennja bojovykh dij ughrupovannja syl i zasobiv protypovitrjanoji oborony v operacijakh*], Information Processing Systems, No. 3 (140), pp. 126-130, available at: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/16464> (accessed 24 April 2021). **12. Gogoniants S. J.** and Polishchuk S. V. (2016). Justification of intensity of changes of functional conditions or mobile radar complex. [*Obgruntuvannja intensyvnostej zminy funkcionalnykh staniv mobiljnogho radiolokacijnogho kompleksu*], Science and Technology of the Air Force of Ukraine, No. 3 (24), pp. 90-92, available at: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/17183> **13. Hrabchak V. I.,** Suprun V. M., Zaskoka A. M., Sokil B. I. (2013). Analytical model of enemy's artillery battery engagement with account for timeliness of its detection. [*Analitychna modelj urazhennja artylerijskoji batareji protyvnyka z urakhuvannjam svojechasnosti jji vyjavlennja*], Military Technical Collection, No. 9, pp. 73-80, [doi.org/10.33577/2312-4458.9.2013.73-80](https://doi.org/10.33577/2312-4458.9.2013.73-80) . **14. Primirenko V. M.** (2017). Substantiation of recommendations for improving the effectiveness of combat use of missile troops in modern operations. [*Obgruntuvannja rekomendacij shhodo pidvyshhennja efektyvnosti bojovogho zastosuvannja vijsjkovykh chastyn raketnykh vijsjk u suchasnykh operacijakh: dis. cand. viysk. nauk*]. Kyiv, p.147. **15. Adamenko M. V.** and Zabolotny O. A. (2018). Mathematical model of the operation of radar reconnaissance bodies in conditions of combat operations. [*Matematychna modelj funkcionuvannja orghaniv radiolokacijnoji rozvidky RViA*], Collection of scientific papers of the Center for Military and Strategic Studies of the National Defence University, No. 1 (62), pp. 107-112, [doi.org/10.33099/2304-2745/2018-1-62/107-112](https://doi.org/10.33099/2304-2745/2018-1-62/107-112) . **16. Golovchenko O. V.** (2020). Content-analysis of trends of waging warfare by the army of the armed forces of the Russian Federation". Sciences of Europe. 2020. Vol. 2, No. 58. pp. 54–61, available at: <https://www.europe-science.com/archive/> **17. Tarasov V. M.,** Tymoshenko R. I., Zaghorka O. M. (2015). Reconnaissance and strike, reconnaissance and fire complexes (principles of construction in the implementation of the concept of network-centric wars, assessment of the effectiveness of combat use). (Textbook) [*Rozvidualjno-udarni, rozvidualjno-voghnevi komplekxy (pryncypy pobudovy v umovakh realizaciji koncepciji merezhcentrychnykh vijn, ocinka efektyvnosti bojovogho zastosuvannja)*], Kyiv. NUOU, 2015. p.184. **18.** Collection of standards for combat training for specialists and artillery units (2020). [*Zbirnyk normatyviv z bojovoji pidghotovky dlja specialistiv i pidrozdiliv artyleriji*]. Kyiv, p.127. **19.** Rules of firing and fire control of ground artillery (division, battery, platoon, gun) (2018). [*Pravyla striljby i upravlinnja voghnem nazemnoji artyleriji (dyvizion, batareja, vzvod, gharmata)*]. Kyiv, p.268. **20.** Guide to the study of the rules of firing and fire control of ground artillery (division, battery, platoon, gun) (2018). [*Posibnyk z vyvchennja pravyl striljby i upravlinnja voghnem nazemnoji artyleriji (dyvizion, batareja, vzvod, gharmata)*]. Kyiv, p.278. **21.** Artillery training course of the Armed Forces of Ukraine (brigade, division, battery, platoon, gun) (2020). [*Kurs pidghotovky artyleriji Zbrojnykh Syl Ukrainy (bryghada, dyvizion, batareja, vzvod, gharmata)*]. Kyiv, p.226. **22.** Rules of firing and control of artillery fire. (2011). [*Pravyla striljby i upravlinnja voghnem artyleriji*]. Moscow. 292 p. **23.** A guide to learning the rules of firing and controlling artillery fire (2011). [*Posibnyk z vyvchennja pravyl striljby i upravlinnja voghnem artyleriji*]. Moscow. 354 p.

## МАТЕМАТИЧНА ФОРМАЛІЗАЦІЯ ВПЛИВУ БОЙОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ ДАЛЕКОБІЙНИХ ЗАСОБІВ УРАЖЕННЯ НА ДОСЯГНЕННЯ ВОГНЕВОЇ ПЕРЕВАГИ НАД ПРОТИВНИКОМ

Результати аналізу локальних війн та збройних конфліктів сучасності свідчать про стійку тенденцію, в арміях провідних країн світу, до досягнення успіху у веденні воєнних дій за рахунок збільшення дольової частки участі далекобійного озброєння у вогневому ураженні противника у воєнних діях. У таких діях загальновійськові формування виконують функцію завершення розгрому противника. Зазначене у свою чергу призвело до модернізації існуючого та розроблення нового далекобійного озброєння у частині збільшення дальності стрільби та скорострільності, яке складає основу розвідувально-ударних бойових платформ загальновійськових об'єднань військ (сил). У країнах, які обмежені у своїх можливостях щодо швидкого розвитку далекобійного озброєння шляхом збільшення обсягу вогневих завдань підрозділів, які спроможні здійснювати дальнє вогневе ураження противника є обґрунтування відповідних науково-організаційних рішень, реалізація яких дасть змогу досягти потрібного ефекту від бойового застосування таких підрозділів. У статті за залежністю імовірності досягнення вогневої переваги над противником від ступеня реалізації вогневих можливостей, залучених до вогневого ураження противника, вогневих засобів обґрунтовано шляхи підвищення ступеня реалізації вогневих можливостей підрозділів, озброєних далекобійними засобами ураження. За результатами проведеного дослідження набула подальшого розвитку сукупність показників ефективності бойового застосування підрозділів, озброєних далекобійними засобами ураження. Запропоновані показники ефективності на відміну від існуючих дають змогу встановити залежність імовірності досягнення вогневої переваги над противником від ефективності бойового застосування зазначених підрозділів та обґрунтувати можливі шляхи підвищення ефективності їх застосування.

**Ключові слова:** вогнева перевага, бойова ефективність, вогневі можливості, далекобійні засоби ураження, ракетний комплекс, пускова установка

### Вступ

У воєнних діях, імовірність досягнення успіху у яких залежить від величини завданих збитків угрупованню противника далекобійними засобами ураження, які у Сухопутних військах (СВ) представлені ракетними комплексами (РК), особлива увага повинна приділятися підвищенню ефективності їх бойового застосування. За будь-яких умов: або можливості оснащення відповідних військових формувань СВ новими зразками РК у короткостроковій перспективі або за відсутності такої особливої актуальності набуває пошук шляхів обґрунтування науково-організаційних рішень, реалізація яких дасть змогу досягати вогневої переваги над противником.

**Постановка проблеми.** Реалії “постгероїчної епохи” призвели до зміни балансу в трикутнику “вогонь – маневр – удар живою силою” під час ведення воєнних дій на користь перших двох і як наслідок розвитку далекобійного озброєння [1, 2]. Це у провідних, у військовому відношенні, країнах світу та країні-агресорі України призвело до того, що основний обсяг завдань з вогневого ураження противника (ВУП) тепер покладається на ті носії вогневих спроможностей, які здатні уражати об'єкти угруповання та критичної інфраструктури противника на всю глибину його операційної побудови. За таких умов створюються сприятливі умови для маневру загальновійськових

підрозділів, які будуть виконувати завершальну функцію розгрому та оволодіння важливими об'єктами, рубежами та позиціями угруповання противника [3-5].

Саме через це основу загальновійськових угруповань військ провідних у військовому відношенні країн світу з кінця ХХ століття складають розвідувально-ударні бойові платформи (системи), які спроможні у режимі часу наближеного до реального уражати щойно розвідані об'єкти противника, при цьому перебуваючи у зоні недосяжності вогню противника [6].

Використання таких підходів до ведення воєнних дій дає змогу досягати вогневої переваги над противником, зміст якої полягає у здатності вогневих засобів успішно виконувати вогневі завдання, не допускаючи істотної протидії вогневих засобів противника.

Вона досягається виконанням таких заходів: створенням кількісної і якісної переваги над противником у вогневих засобах;

випередженням противника у відкритті вогню; раптовістю та ефективністю виконання вогневих завдань;

своєчасним і надійним ураженням вогневих засобів найбільш важливих об'єктів противника.

У СВ основними підрозділами, що спроможні здійснювати дальнє ВУП є ті, що озброєні РК,

кількість яких через ряд об'єктивних та суб'єктивних причин у короткостроковій перспективі не може бути збільшена [7]. Зазначене, а також об'єктивна необхідність виконання більшого обсягу вогневих завдань підрозділами, озброєними далекобійними засобами ураження обумовлює пошук шляхів обґрунтування науково-організаційних рішень, реалізація яких дасть змогу підвищити ефективність їх бойового застосування. З цією метою виникає наукове завдання пошукового характеру, зміст якого полягає у обґрунтуванні показників ефективності бойового застосування підрозділів, озброєних далекобійними засобами ураження. Зазначене дасть змогу встановити залежність між досягненням вогневої переваги над противником та ефективністю бойового застосування зазначених підрозділів і, відповідно, обґрунтувати рекомендації щодо її підвищення.

#### Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Науковому напрямку дослідження проблем і можливостей бойового застосування підрозділів, які озброєні далекобійними засобами ураження завжди приділялася достатня увага. Проте, після показових епізодів ефективного застосування далекобійних засобів ураження в умовах збройної боротьби сучасності дослідження проблем їх бойового застосування набули ще більшої актуальності, адже в умовах збройної боротьби між протиборчими сторонами саме на зазначені підрозділи покладався найбільший обсяг завдань з ВУП з метою досягнення вогневої переваги [7].

Так, внесок у розвиток теорії бойового застосування підрозділів, озброєних далекобійними засобами ураження внесли роботи [8-10]. У них досліджено та запропоновані теоретичні підходи до визначення можливостей зазначених формувань та напрямів їх розвитку.

У роботі [11] обґрунтовано підходи до побудови математичних моделей бойового застосування розвідувально-ударних, розвідувально-вогневих комплексів. Результати цієї роботи дали змогу виявити шляхи підвищення ефективності бойового застосування зазначених підрозділів.

У роботах [8, 12] обґрунтовано підходи до підвищення живучості підрозділів, що у той же час дозволяє підвищити їх вогневі можливості.

У той же час у наукових публікаціях відсутні підходи щодо обґрунтування показників ефективності бойового застосування підрозділів, озброєних далекобійними засобами ураження в умовах ведення збройних конфліктів сучасності з метою встановлення впливу їх бойового застосування на досягнення вогневої переваги над противником.

**Мета статті** полягає у розвитку та обґрунтуванні показників ефективності бойового застосування підрозділів, озброєних далекобійними засобами ураження з метою подальшого встановлення залежності між досягненням стану вогневої переваги над противником та ефективністю їх бойового застосування.

## Виклад основного матеріалу дослідження

У роботі [10] запропоновано підхід до визначення ступеня досягнення вогневої переваги над противником через ефективність функціонування усіх систем і у першу чергу ВУП. У свою чергу оцінити результат функціонування тієї чи іншої системи можна шляхом порівняння отриманих чисельних значень певного показника. У нашому випадку показник ефективності системи ВУП може бути виражений залежністю [13]

$$K_{ef} = \prod_{i=1}^N K_i = K_p \cdot K_{вз} \cdot K_y \cdot K_{зр}, \quad (1)$$

де  $K_{ef}$  – сумарний показник ефективності ВУП;

$K_i$  – ступінь реалізації  $i$ -го параметру;

$K_p$  – ступінь реалізації параметрів засобів розвідки;

$K_{вз}$  – ступінь реалізації параметрів вогневих засобів;

$K_y$  – ступінь реалізації параметрів засобів управління;

$K_{зр}$  – ступінь реалізації параметрів забезпечення ресурсами;

$N$  – кількість компонентів, які приймають участь у ВУП.

У формулі (1) під  $K_{вз}$  будемо розуміти ступінь реалізації вогневих можливостей засобів ураження  $i$ -го компоненту (вид ЗС, рід військ), який залучаються до ВУП. Отже із формули (1) видно, що ефективність системи ВУП, яка характеризує ступінь досягнення вогневої переваги над противником залежить від ефективності бойового застосування усіх компонентів, які залучаються до його здійснення у межах своєї частки участі. Ступінь досягнення вогневої переваги над противником є імовірнісною величиною, а його значення лежить у межах від 0 до 1. З цього слідує, що чим більше значення прогнозованого ступеня досягнення вогневої переваги над противником наближається до 1 тим імовірніше буде досягнуто вогневу перевагу над противником під час ведення реальних воєнних дій. Зазначене обумовлює необхідність максимізації усіх складових показників мультиплікативної згортки формули (1) від яких залежить ступінь досягнення вогневої переваги над противником. Оскільки у досягненні вогневої переваги над противником приймають участь  $N$  компонентів, серед яких той, на який у СВ, як було зазначено, покладається найбільший обсяг завдань з дальнього ВУП (підрозділи, озброєні далекобійними засобами ураження), то існує необхідність у розгляді саме його впливу на кінцеву величину ступеня досягнення вогневої переваги над противником. З формули (1) слідує, що оцінюючи ступінь досягнення вогневої переваги над противником за рахунок застосування підрозділів СВ, озброєних далекобійними засобами ураження ефективність їх застосування можна виразити через ступінь реалізації їх вогневих можливостей. Зазначене обумовлює необхідність досягнення

максимального значення ступеня реалізації вогневих можливостей зазначених підрозділів, а обґрунтування шляхів щодо його підвищення дасть змогу підвищити ступінь досягнення вогневої переваги над противником. Для того, щоб зрозуміти фізичний зміст ступеня реалізації вогневих можливостей зазначених підрозділів необхідно з'ясувати зміст їх вогневих можливостей, від чого вони залежать та головний зміст їх бойового застосування.

Під вогневими можливостями підрозділів, які озброєні далекобійними засобами ураження розуміють кількість об'єктів противника, що відповідний підрозділ спроможний уразити визначеною кількістю засобів ураження, конкретного типу у конкретних умовах бойової обстановки [14]. Оскільки на процес бойового застосування цих підрозділів впливає безліч стохастичних факторів, вплив яких складно урахувати, то кількість об'єктів противника, яку підрозділ спроможний уразити будемо виражати через математичне сподівання (МСП).

Головний зміст бойового застосування підрозділів, що розглядається полягає у підготовці і завданні ударів з метою ураження об'єктів противника та завоювання вогневої переваги над ним. Одним із можливих підходів щодо оцінювання ефективності їх бойового застосування може полягати у визначенні величину збитку, якого необхідно завдати противнику з метою досягнення вогневої переваги над ним [15]. У такому разі зміст бойового застосування може полягати у встановленні кількості засобів ураження на кожен далекобійний засіб ураження, який як правило представлений пусковою установкою (ПУ) РК, якій залежно від виду воєнних дій необхідно призначити для ураження відповідні об'єкти противника з метою досягнення вогневої переваги над ним та подальшого його розгрому. За такого підходу до бойового застосування цих підрозділів точне ураження призначеної кількості об'єктів ураження визначеною кількістю засобів ураження може свідчити про їх ефективне бойове застосування.

У той же час, зазначений підхід може мати місце за умови достатньо великої кількості ПУ у складі можливого угруповання своїх військ, які до того ж за своїми бойовими можливостями не будуть поступатися аналогічним засобам ураження воєнного противника [16, 17]. За інших умов призначення визначеної кількості засобів ураження із розрахунку на одну ПУ не дає змогу досягти вогневої переваги над противником та завдати йому істотних втрат. Проте звідси виходить логічний висновок, що зменшення кількості далекобійних засобів, яке тягне за собою зменшення можливості щодо завдання втрат противнику (вогневих можливостей) можна компенсувати за рахунок збільшення кількості засобів ураження, які необхідно призначити на одну ПУ. Однак це твердження не зовсім вірне, адже зміст бойового застосування підрозділів, які озброєні далекобійними засобами ураження полягає не лише у послідовному завданні ударів визначеною кількістю засобів ураження, а й у

здійсненні маневру з метою виходу ПУ із під можливого удару противника у відповідь [14, 18]. Якщо умовно загальний час бойового застосування зазначених підрозділів у ході ведення воєнних дій виразити через суму часу необхідного на підготовку і завдання ударів та часу на здійснення маневру, то виявиться, що час на підготовку і завдання ударів регламентований технічними характеристиками РК, а час на здійснення маневру – тактичними показниками взаємного віддалення стартових позицій одна від одної. Отже, щоб такому підрозділу своїх військ не бути ураженим вогневими засобами противника існує необхідність у здійсненні противогневого маневру ПУ, здійснення якого зменшує сумарний час для підготовки і завдання ракетних ударів (РУ).

Виходячи із зазначеного можна ввести поняття потенційних вогневих можливостей. Під потенційними вогневими можливостями слід розуміти МСП кількості об'єктів противника, яку підрозділ може уразити за певний період часу без протидії противника, тобто без необхідності здійснення маневру ПУ на запасні позиції. А під ступенем реалізації потенційних вогневих можливостей підрозділів слід розуміти МСП кількості об'єктів противника, яку підрозділ може уразити за певний період часу з урахуванням протидії противника, тобто з урахуванням необхідності здійснення маневру ПУ на запасні позиції. Звідси виходить, що більш коректним показником ефективності бойового застосування підрозділу, який озброєний далекобійними засобами ураження буде ступінь реалізації його потенційних вогневих можливостей.

Виходячи із зазначеного можливо обґрунтувати залежність показника ефективності бойового застосування зазначеного підрозділу в умовах ведення сучасних збройних конфліктів.

За основний показник ефективності бойового застосування підрозділу прийнято ступінь реалізації їх вогневих можливостей  $K_{\text{ез}}$

$$K_{\text{ез}} = \frac{M^m}{M^n} \quad (2)$$

де  $M^m$  – МСП кількості об'єктів противника, яку можна прийняти до ураження підрозділом за умови вогневої протидії противника;

$M^n$  – МСП кількості об'єктів противника, яку можна прийняти до ураження підрозділом без протидії противника.

МСП кількості об'єктів, яку можна прийняти до ураження підрозділом можливо визначити за формулою

$$M^m = \frac{M_y \cdot (n_{\text{ПУ}} - n_{\text{ПУ.р}}) \cdot P_{\text{ц}}}{N_{\text{зв.ц}}}, \quad (3)$$

де  $M_y$  – МСП кількості ударів, які можливо завдати однією ПУ;

$n_{\text{ПУ}}$  – кількість ПУ у складі підрозділу;

$n_{\text{ПУ.р}}$  – кількість резервних ПУ зі складу підрозділу;

$P_{ц}$  – імовірність ураження цілі від завдання РУ;

$N_{зу.ц}$  – норма витрати засобів ураження для ураження типової цілі.

Тут необхідно ввести обмеження, зміст якого полягатиме у тому, що кожен здійснений РУ буде свідчити про досягнення його мети, а саме ураження з певною імовірністю запланованого до ураження об'єкта.

Математичне сподівання кількості РУ, яку можливо здійснити однією ПУ визначається за формулою

$$M_{Y} = \frac{M_2}{t_{зру}} \cdot P_{зру}, \quad (4)$$

де  $M_2$  – МСП сумарного часу наявного для виконання завдання із завдання РУ (визначається за результатами математичного моделювання);

$t_{зру}$  – час завдання РУ ПУ;

$P_{зру}$  – імовірність завдання РУ.

Зміст показника імовірності завдання РУ полягає у тому, що він характеризує з якою імовірністю ПУ гарантовано здійснять РУ в умовах вогневої протидії противника. Необхідність введення зазначеного показника обумовлена розвитком засобів розвідки і ураження противника, результати якого можуть негативно впливати на процес підготовки РУ ПУ. Тобто ПУ з певною імовірністю може бути уражена на позиції в момент підготовки РУ.

Втрати своїх ПУ характеризуються МСП кількості уражених ПУ

$$M_{ПУ} = P_{ПУ} \cdot n_{ПУ}, \quad (5)$$

де  $P_{ПУ}$  – імовірність ураження ПУ.

Як було зазначено у статті, що ступінь реалізації вогневих можливостей підрозділу залежить від того скільки часу протягом участі у веденні бойових дій буде витрачено на здійснення маневру ПУ. Оскільки характер маневр ПУ є складовою способом бойового застосування підрозділу, на озброєнні якого перебувають ці ПУ, то можливо стверджувати, що ефективність їх бойового застосування залежатиме від способу їх бойового застосування та характеризуватиметься відносним приростом обсягу завдань ВУП, що можуть бути покладені на зазначені підрозділи у збройній боротьбі

$$\Delta K_{єз} = \frac{K_{єз}^1 - K_{єз}^2}{K_{єз}^2}, \quad (6)$$

де  $K_{єз}^1$  – ступінь реалізації вогневих можливостей підрозділу при використанні удосконаленого способу їх бойового застосування;

$K_{єз}^2$  – ступінь реалізації вогневих можливостей підрозділу при використанні існуючого способу бойового застосування.

Використання формули (6) дає змогу оцінити приріст ефективності бойового застосування підрозділів залежно від способу їх бойового

застосування.

Оскільки у статті було визначено потребу максимізації значення ступеня досягнення вогневої переваги над противником, яка залежить у тому числі і від ступеня реалізації вогневих можливостей підрозділів, то за критерій ефективності їх бойового застосування слід обрати максимум ступеня реалізації вогневих можливостей підрозділів залежно від способу їх бойового застосування при заданих втратах своїх ПУ

$$\begin{cases} K_{єз}^n = \max \\ M_{ПУ} \leq M_{ПУ.д} \end{cases}, \quad (7)$$

де  $M_{ПУ.д}$  – МСП допустимої кількості уражених ПУ.

Виконання умови (7) дасть змогу обирати той спосіб бойового застосування зазначених підрозділів, реалізація якого забезпечить максимальне підвищення ступеня реалізації їх вогневих можливостей при заданих втратах своїх ПУ.

Основними перевагами запропонованих показників ефективності є: ясний фізичний зміст; їх чутливість до змін основних параметрів бойового застосування підрозділів; можливість врахувати як вогневі та маневрені можливості підрозділів, так і можливості противника щодо ураження ПУ; можливість використання для порівняльного оцінювання ефективності бойового застосування підрозділів залежно від способів їх бойового застосування та прийняття рішення на ведення бойових дій; визначати, залежно від потрібного ступеня досягнення вогневої переваги над противником значення потрібного ступеня реалізації вогневих можливостей підрозділів, які озброєні далекобійними засобами ураження.

Отже, у статті за залежністю ступеня досягнення вогневої переваги над противником в операції від ефективності бойового застосування підрозділів, озброєних далекобійними засобами ураження було визначено сукупність показників ефективності їх бойового застосування. Визначення показників ефективності було проведено за допомогою методу дерева цілей. Його сутність полягає у визначенні головної мети бойового застосування підрозділів у збройній боротьбі та в подальшому розподілі її на локальні цілі. Відповідно до побудованого дерева цілей, головною метою бойового застосування підрозділу у збройній боротьбі є виконання завдань щодо завдання РУ у межах дольової частки участі у ВУП при заданих втратах своїх ПУ з метою досягнення потрібного ступеня досягнення вогневої переваги над противником. Наявність запропонованих показників ефективності дає змогу встановити вплив ефективності бойового застосування підрозділів, які озброєні далекобійними засобами ураження на ефективність ВУП та досягнення стану вогневої переваги над ним.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, за результатами застосування системного підходу під час обґрунтування

сукупності показників та критерію ефективності бойового застосування підрозділів, які озброєні далекобійними засобами ураження у збройних конфліктах сучасності набула подальшого розвитку сукупність показників ефективності бойового застосування зазначених підрозділів, до якої, на відміну від існуючих, додатково включені такі показники як ступінь реалізації вогневих можливостей підрозділів, які озброєні далекобійними засобами ураження та гарантованість завдання РУ по об'єкту

### Література

1. **Белесков М. М.** Сучасний російський спосіб ведення війни: теоретичні основи і практичне наповнення : аналіт. доп. – К. : НІСД, 2021. – 29 с.  
 2. **Raytheon DeepStrike Missile.** URL: <https://www.army-technology.com/projects/raytheon-deepstrike-missile/> (дата звернення 09.04.2021).  
 3. **Scott Boston,** Dara Massicot. The Russian Way of Warfare. Rand Corporation, 2017. – P. 9.  
 4. **«Глибокий удар» ракетной артиллерии.** URL: <https://warspot.ru/9285-klubokiy-udar-raketnoy-artillerii> (дата звернення 09.04.2021).  
 5. **Jack Watling.** The Future of Fires. Maximising the UK's Tactical and Operational Firepower. RUSI Occasional Paper, November 2019. 62 p.  
 6. **Michael Sterling,** Soviet Reactions to NATO's Emerging Technologies for Deep Attack. Santa Monica, CA: RAND, august 1985. 40 p.  
 7. **Стратегія** воєнної безпеки України. Воєнна безпека – всеохоплююча оборона : затверджена указом Президента України від 25 березня 2021 року №121/2021.  
 8. **Peter V. Doran.** Land Warfare in Europe. Lessons and Recommendations from the War in Ukraine. CEPA. November 2016. 13 p.  
 9. **Майстренко О. В.,** Стужук П. І., Приміренко В. М., Адаменко М. В. Аналіз підходів до визначення можливостей формувань ракетних військ і артилерії. Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки. Хмельницький, 2015. №3 (65). С. 149–163.  
 10. **Andrew Hunter,** Rhys McCormick, The Army Modernization Imperative. A New Big Five for the Twenty-First Century. May 2017, 80 p.  
 11. **Розвідувально-ударні,** розвідувально-вогневі комплекси (принципи побудови, оцінка ефективності бойового застосування):

противника, яка виражається імовірністю завдання удару в умовах протидії противника.

Наявність зазначених показників ефективності дасть змогу у подальшому за результатами проведеного моделювання бойових дій підрозділів, за допомогою математичної моделі, адекватно оцінювати параметри їх бойового застосування за різних умов обстановки та обґрунтовувати відповідні рекомендації щодо варіанту бойового застосування підрозділів, які озброєні далекобійними засобами ураження.

Монографія / [В.М. Тарасов, Р.І. Тимошенко, О.М. Загорка]. – К.: НУОУ, 2015. – 177 с.  
 12. **Приміренко В. М.** Обґрунтування рекомендацій щодо визначення оптимальної кількості хибних пускових установок розміщених на позиціях у складі військового формування ракетних військ. Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Київ, 2016. № 1 (25). С. 92–96.  
 13. **Стракович О.А.,** Гремчук М.С., Касинский В.А. Взаимодействие сил и средств разведки и огневого поражения в бою. *Вестник военной академии Республики Беларусь.* Минск, 2014. №1 (42). С. 16.  
 14. **Бойове застосування** підрозділів ракетних військ : підручник. / Р. В. Бондар та ін. Львів : НАСВ, 2020. 269 с.  
 15. **Шлейко М. Е.** Методы оценки эффективности огневого поражения противника в операции (бою). *Вестник КазНУ.* Сер. мат., мех., инф. Казань, 2009. № 4(63). С. 45–51.  
 16. **Выбить залпом:** реактивные установки «Торнадо-С» получили новые ракеты. URL: <https://iz.ru/1053571/roman-kretcul-alekseiramm/vybit-zalpom-reaktivnye-ustanovki-tornado-s-poluchili-novye-rakety>.  
 17. **Оперативно-тактический** ракетный комплекс 9К720 "Искандер" (НАТО: SS-26 Stone). URL: <https://vpk.name/library/f/iskander.html>. (дата звернення 09.04.2021).  
 18. **Ліпський А.,** Трофімов І. Планування проти вогневого маневру артилерії та переміщення її в ході бою. Актуальні питання розвитку ракетних військ і артилерії за досвідом ведення антитерористичної операції (операції Об'єднаних сил : матеріали наук.-практ. сем., м. Київ, 26 листопада 2020 р. Київ, 2020. С. 34–40.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ ВЛИЯНИЯ БОЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДАЛЬНОБОЙНЫХ СРЕДСТВ ПОРАЖЕНИЯ НА ДОСТИЖЕНИЯ ОГНЕВОГО ПРЕВОСХОДСТВА НАД ПРОТИВНИКАМИ

*Владимир Николаевич Приміренко (кандидат военных наук)*

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

*Результаты анализа локальных войн и вооруженных конфликтов современности свидетельствуют об устойчивой тенденции, в армиях ведущих стран мира, к достижению успеха в ведении военных действий за счет увеличения доли участия дальнобойного вооружения в огневом поражении противника в военных действиях. В таких действиях общевойсковые формирования выполняют функцию завершения разгрома противника. Указанное в свою очередь привело к модернизации существующего и разработки нового дальнобойного вооружения в части увеличения дальности стрельбы и скорострельности, которое составляет основу разведывательно-ударных боевых платформ общевойсковых объединений войск (сил). В странах, которые ограничены в своих возможностях по быстрому развитию дальнобойного вооружения путем увеличения объема огневых задач подразделений, способных осуществлять дальнейшее огневое поражение противника является обоснование соответствующих научно-организационных решений, реализация которых позволит достичь нужного эффекта от боевого применения таких подразделений. В статье по зависимости вероятности достижения огневого превосходства над противником от степени реализации огневых возможностей вовлеченных в огневое поражение противника огневых средств обоснованы пути*

повышения степени реализации огневых возможностей подразделений, вооруженных дальнобойными средствами поражения. По результатам проведенного исследования получила дальнейшее развитие совокупность показателей эффективности боевого применения подразделений, вооруженных дальнобойными средствами поражения. Предложенные показатели эффективности в отличие от существующих позволяют установить зависимость вероятности достижения огневого превосходства над противником от эффективности боевого применения указанных подразделений и обосновать возможные пути повышения эффективности их применения.

**Ключевые слова:** огневое преимущество, боевая эффективность, огневые возможности, дальнобойные средства поражения, ракетный комплекс, пусковая установка

## MATHEMATICAL FORMALIZATION OF INFLUENCE OF COMBAT APPLICATION OF LONG-TERM MEANS OF DAMAGE ON ACHIEVEMENT OF FIRE ADVANTAGE OVER THE ENEMY

*Volodymyr Prymirenko (Candidate of military science)*

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine*

The results of the analysis of local wars and modern armed conflicts show a steady trend, in the armies of the world's leading countries, to achieve success in hostilities by increasing the share of long-range weapons in enemy fire in hostilities. In such actions, all-military formations perform the function of completing the defeat of the enemy. This, in turn, has led to the modernization of existing and development of new long-range weapons in terms of increasing the range of fire and rate of fire, which is the basis of reconnaissance and strike combat platforms of all-military units (forces). In countries that are limited in their capabilities for the rapid development of long-range weapons by increasing the fire tasks of units capable of long-range fire damage to the enemy is the justification of appropriate scientific and organizational decisions, the implementation of which will achieve the desired effect of combat use of such units. In the article, depending on the probability of achieving a fire advantage over the enemy on the degree of realization of fire capabilities involved in the fire defeat of the enemy fire means substantiated ways to increase the degree of fire capabilities of units armed with long-range weapons. According to the results of the study, a set of indicators of the effectiveness of combat use of units armed with long-range weapons was further developed. The proposed efficiency indicators, in contrast to the existing ones, make it possible to establish the dependence of the probability of achieving a fire advantage over the enemy on the effectiveness of combat use of these units and to justify possible ways to increase the effectiveness of their use.

**Keywords:** fire superiority, combat effectiveness, fire capabilities, long-range means of destruction, missile system, launcher

### References

- Bleskov M. M.** Suchasnyi rosiiskiy sposib vedennia viiny: teoretychni osnovy i praktychne napovnennia : analit. dop. – K. : NISD, 2021. –29 s. **2. Raytheon DeepStrike Missile.** URL: <https://www.army-technology.com/projects/raytheon-deepstrike-missile/> (дата звернення 09.04.2021). **3. Scott Boston,** Dara Massicot. The Russian Way of Warfare. Rand Corporation, 2017. – P. 9. **4. «Glubokiy udar»** raketnoi artilerii. URL: <https://warspot.ru/9285-glubokiy-udar-raketnoy-artillerii> (data zvernennia 09.04.2021). **5. Jack Watling.** The Future of Fires. Maximising the UK's Tactical and Operational Firepower. RUSI Occasional Paper, November 2019. 62 p. **6. Michael Sterling.** Soviet Reactions to NATO's Emerging Technologies for Deep Attack. Santa Monica, CA: RAND, august 1985. 40 p. **7. Strategia** voennoi bezpeky Ukrainy. Voenna bezpeka – vseohopluchcha oborona : zatverdzhena ukazom Prezydenta Ukrainy vid 25 bereznia 2021 roku №121/2021. **8. Peter B. Doran.** Land Warfare in Europe. Lessons and Recommendations from the War in Ukraine. CEPA. November 2016. 13 p. **9. Maistrenko O. V.,** Stuxhuk P. I., Prymirenko V. M., Adamenko M. V. Analiz pidhodiv do vyznachennia mozhylyvostei formuvan raketnyh viisk i artilerii. Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii Derzhavnoi prykordonnoi sluzhby Ukrainy. Seria: viiskovi ta tahnichni nauky. Khmelnytskyi, 2015. №3 (65). S. 149–163. **10. Andrew Hunter,** Rhys McCormick, The Army Modernization Imperative. A New Big Five for the Twenty-First Century. May 2017, 80 p. **11. Rozvidualno-udarni,** rozvidualno-vognevi komplekxy (pryntsypy pobudovy, otsinka efektyvnosti boyovogo zastosuvannia): Monografia / [V.M. Tarasov, R.I. Timoshenko, O.M. Zagorka]. – K.: NUOU, 2015. – 177 s. **12. Prymirenko V. M.** Obruntuвання рекомендацій щодо визначення оптимальної кількості гребних пускових установок розміщення на позиціях у складі військового формування ракетних виїср. Suchasni informacini tehnologii u sferi bezpeky ta oborony. Kyiv, 2016. № 1 (25). S. 92–96. **13. Strakovych O.A.,** Gremchuk M.S., Kasynskiy V.A. Vzaimodeistvie syl i sredstv razvedki i ognеvogo porazhenia v bou. Vestnik voennoi akademii Respubliki Belarus. Minsk, 2014. №1 (42). С. 16. **14. Boyove zastosuvannia** pidrozdiliv raketnyh viisk : pidruchnyk. / R. V. Bondar ta in. Lviv : NASV, 2020. 269 s. **15. Shleiko M. E.** Metody otsenky efektyvnosti ognеvogo porazhenia protivnika v operatsii (bou). Vestnik KazNU. Ser. mat., meh., inf. Kazan, 2009. № 4(63). S. 45–51. **16. Vybit zalpom:** reaktivnye ustanovki «Tornado-S» poluchili novye rakety. URL: <https://iz.ru/1053571/roman-kretcul-alekseiramm/vybit-zalpom-reaktivnye-ustanovki-tornado-s-poluchili-novye-rakety>. (data zvernennia 09.04.2021). **17. Operativno-takticheskyy** raketnyi kompleks 9K720 "Iskander" (NATO: SS-26 Stone). URL: <https://vpk.name/library/f/iskander.html>. (data zvernennia 09.04.2021). **18. Lipski A.,** Trofimov I. Planuvannia protyvognevogo manevru artilerii ta peremischennia ii v hodi bou. Aktualni pytannia rozvytku raketnyh viisk i artilerii za dosvidom vedennia antyterrorystychnoi operacii (operacii Obiednanyh syl : materialy nauk.-prakt. sem., m. Kyiv, 26 lystopada 2020 r. Kyiv, 2020. S. 34–40.



## ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ АНАЛІЗУ ВІДКРИТИХ ДЖЕРЕЛ ПРИ РОЗРОБЛЕННІ ПАСПОРТУ ЦІЛЮВИХ АУДИТОРІЙ В ІНТЕРЕСАХ РЕАЛІЗАЦІЇ СТРАТЕГІЧНОГО НАРАТИВУ ДЕРЖАВИ

*В статті розглядається аналіз відкритих джерел який базується на методі OSINT розвідки при розробленні паспорту цільової аудиторії в інтересах реалізації стратегічного нарративу держави.*

*Для досягнення мети статті автором узагальнені підходи до аналізу відкритих джерел інформації та розроблено пропозиції щодо формування паспорту цільової аудиторії. Визначено процес ведення розвідки з відкритих джерел інформації, обґрунтовані критерії які висуваються до розвідданих отриманих з відкритих джерел інформації. Розглянуто типи ведення такої розвідки. Узагальнені критерії дали можливість визначити перелік програмних продуктів, які раціонально використовувати при проведенні розвідки з відкритих джерел, а також проведено короткий огляд та можливості цих програмних продуктів.*

*З метою узагальнення та систематизації отриманих розвідданих з відкритих джерел автором запропоновано створення паспорту цільової аудиторії. Розглянуто загальну структуру самого бланку паспорту та особливості структури заповнення отриманої інформації з відкритих джерел.*

*Запропонований підхід щодо аналізу відкритих джерел при розробленні паспорту цільової аудиторії в інтересах реалізації стратегічного нарративу держави надасть можливість вірно побудувати та реалізувати систему інформаційної безпеки у воєнній сфері у формі стратегічних комунікацій Міністерства оборони та Збройних Сил України. Проведений аналіз надасть можливість визначити основні потреби та вразливі місця цільових аудиторій та реалізувати інтереси держави у вигляді підтримки населення щодо стратегічного курсу держави на набуття повноправного членства України в ЄС та НАТО.*

**Ключові слова:** OSINT розвідка, цільова аудиторія, стратегічний нарратив.

### Вступ

Розглядаючи зростання інформатизації суспільства та збільшення впливу кіберпростору на людство в цілому, слід визнати, що сучасний розвиток інформаційних технологій призвів до кризи існуючих джерел розповсюдження інформації, насамперед традиційних мас-медіа. Незважаючи на перехід засобів масової інформації на електронну форму, вони й надалі використовують стару модель комунікацій, в якій цільова аудиторія є лише пасивним споживачем інформаційного продукту. Традиційні засоби масової інформації, навіть в електронній формі, значно поступаються сучасним Інтернет – технологіям, оскільки все більше асоціюються з пропагандою та нав'язуванням інформації. Це значно знижує ступінь довіри до існуючих джерел розповсюдження інформації, які намагаються здійснити інформаційний вплив на визначені об'єкти впливу. Відсутність державних джерел розповсюдження інформації тягне за собою проблему щодо інформування суспільства про реалізацію стратегічних цілей держави.

**Постановка проблеми.** При реалізації стратегічних комунікацій держави набуває актуальності проблема визначення цільових аудиторій які формують основні погляди населення на визначений державою стратегічний курс. На сьогоднішній день не існує жодного нормативного документу який регламентує порядок визначення та отримання інформації про цільові аудиторії.

Стратегічні комунікації на сьогоднішній день перебувають в стадії становлення, при чому цей процес, на відміну від провідних країн світу, відбувається в реальних бойових умовах. Тому

наявні проблеми та труднощі потребують оперативного визначення та вирішення. Основна увага стратегічних комунікацій при реалізації стратегічного нарративу держави спрямована на цільові аудиторії [1].

Проблема визначення цільових аудиторій широкого формату набула в дослідженнях маркетингологів та підприємців, які розробляли оцінку споживача, щоб точніше втілити потреби покупця та розробити окремі пропозиції для кожного. Оцінка та вибір цільової аудиторії при реалізації стратегічного нарративу держави повинен враховувати сучасні методи аналізу, які будуть базуватись на результатах аналізу відкритих джерел інформації з використанням методик аналізу даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематикою реалізації стратегічних комунікацій держави на сьогоднішній день займається велика низка вітчизняних та закордонних вчених. в роботах Ланде Д.В., Даника Ю.Г., Сальнікової О.Ф., Сніцаренка П.М. висвітлено матеріал щодо понятійно-категорійного апарату та основні засади реалізації стратегічних комунікацій держави. Ці роботи стали твердим науковим підґрунтям для розвитку вітчизняної системи стратегічних комунікацій.

Значного успіху у визначенні цільових аудиторій та їх оцінці в сфері маркетингу досягнув Марк Шеррінгтон [2]. В своїх роботах він детально описав практичні методи, визначив труднощі, які можуть траплятись при визначенні цільових аудиторій ринку збуту продукції та шляхи їх подолання.

В попередніх працях [3,4] автором було обґрунтовано стратегічний нарратив держави та

проведено аналіз сталості процесу розвитку громадської думки при реалізації стратегічного нарративу держави. В працях [5,6] розглянуто підходи щодо оцінки ефективності функціонування системи стратегічних комунікацій Міністерства оборони та Збройних Сил України і оцінки загроз інформаційній безпеці України у війсьній сфері. Також розглядалися питання особливостей сприйняття та реагування на отриману інформацію[7], однак досліджень щодо аналізу відкритих джерел та розроблення паспорту цільової аудиторії не проводилось.

**Метою статті** є наукове обґрунтування особливостей застосування методу OSINT розвідки проведення аналізу відкритих джерел при розробленні паспорту цільових аудиторій в інтересах реалізації стратегічного нарративу держави.

## Виклад основного матеріалу дослідження

З кожним роком кількість користувачів мережі Інтернет зростає. На початок жовтня 2020 року 4.9 млрд людей, а це 63,2% жителів землі, користується глобальною мережею. А розмір даних в цій мережі досяг 2.7 зеттабайт (1 ЗБ ~ 1012ГБ). З року в рік кількість користувачів і пристроїв, підключених до мережі, збільшується на 6% і 10% відповідно. Велика частина цієї інформації є відкритою. Джерела, що посилаються на ці дані або на дані з газет, журналів, радіо і телепередач, публічних звітах уряду, називаються відкритими [8]. Світова статистика використання мережі Інтернет в третьому кварталі 2020 року представлена в таблиці 1.

Таблиця 1

Світова статистика використання Інтернету

Реґіон	Чисельність населення (2020 р.)	% від чисельності населення світу	Інтернет-користувачі	Рівень розповсюдження (% від чис. нас.)	Зростання 2000-2020	% від світового інтернету
Африка	1340598447	17,2%	63194772	47,1%	13898%	12,8%
Азія	4294516659	55,1%	2555636255	59,5%	2136%	51,8%
Європа	834995197	10,7%	727848547	87,2%	593%	14,8%
Латинська Америка/Карибський Басейн	654287232	8,4%	467817332	71,5%	2489%	9,5%
Середній Схід	260991690	3,3%	184856,813	70,8%	5527%	3,7%
Північна Америка	368869647	4,7%	332908868	90,3%	208%	6,8%
Океанія / Австралія	42690838	0,5%	28917600	67,7%	279%	0,6%
Всього	7796949710	100%	4929926187	63,2%	1266%	100%

Оцінка використання Інтернету та світової статистики населення наведена в таблиці узагальнена станом на 20 жовтня 2020 р. Демографічні показники (населення) базуються на даних Відділу ООН з питань народонаселення. Інформація про використання Інтернету узагальнена на підставі даних, опублікованих Nielsen Online, Міжнародним союзом телекомунікацій, GfK, місцевими регуляторами ІКТ та інших джерел.

Відкриті джерела містять достатню кількість інформації, обробка та аналіз якої дозволяють синтезувати нові знання, що сприяють прогнозуванню можливих впливів людського та фізичного чинників на розвиток оперативної обстановки на місцях проведення інформаційних та психологічних операцій. Синергетичний ефект при веденні OSINT розвідки досягається у результаті комплексування добутої відкритої інформації та розвідувальної інформації, що добута технічними засобами та оперативними методами. При відпрацюванні паспорту цільової аудиторії пропонується застосувати саме методу OSINT розвідки, що являє собою аналіз відкритих джерел.

OSINT повна англійська версія Open Source INTelligence – це технологія пошуку, акумулювання і аналізу даних, зібраних з доступних джерел в мережі Інтернет. Можна стверджувати, що OSINT розвідка – це вид розвідки, що ведеться шляхом систематичного збору інформації з відкритих джерел, її аналізу, підготовки та своєчасного надання кінцевого продукту замовнику з метою забезпечення його потреб у такій інформації.

Процес ведення OSINT розвідки складається з

чотирьох етапів – планування, підготовки, збору та виробництва кінцевого матеріалу і чотирьох постійних дій – аналізу, накопичення розвідданих їх оцінювання та розподілу за напрямками (Рис.1) [9].

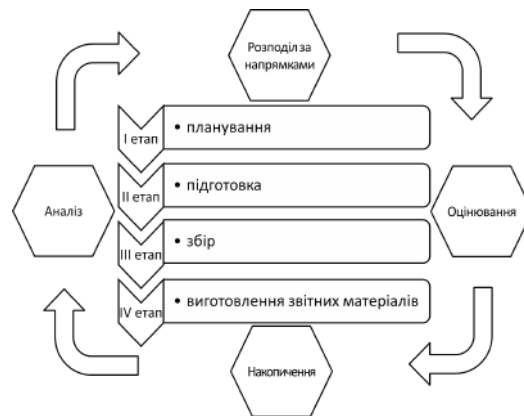


Рис. 1. Етапи та дії при здійсненні OSINT розвідки

Розвіддані отримані з відкритих джерел часом не тільки не відрізняються від секретних матеріалів, але часто можуть перевершувати їх своєю цінністю з точки зору аналізу та розвитку розвідувальних моментів. Під загальними критеріями розвідданих розуміють такі, як швидкість надходження, об'єми, якість, ясність, легкість подальшого використання і вартість отримання.

Під швидкістю розуміємо, час отримання розвідувальної інформації. Коли в якій-небудь точці планети вибухає криза, а можливості розвідки в даному регіоні обмежені, то і аналітики розвідслужб, і представники структур, які формують державну політику, найчастіше вмикають телевизор або відправляються за поточною інформацією в мережу

Інтернет. Більш того, те ж саме може відбуватися і з регіонами, де широко розгорнута мережа агентурної розвідки або HUMINT мережі. Події розвиваються стрімко, тому в моменти криз найбільш змістовно відображаються в поточних новинах, наприклад за падінням Берлінської стіни, скажімо, і в Вашингтоні, і в штаб-квартирі ЦРУ в Ленглі, що достовірно відомо, стежили не зі зведень розвідслужб, а припавши до екранів телевізорів з репортажами CNN з місця подій.

Під критерієм об'єми розуміється кількість матеріалу для отримання розвідданих. У світі завжди буде набагато більше всляких блогерів, журналістів, незалежних експертів, телерепортерів та інших обізнаних людей, ніж кількість кадрових розвідників, яке може дозволити собі мати будь-яка спецслужба, нехай навіть найбільша і багата. Два-три професійних розвідника з хорошою агентурною мережею, годі й казати, можуть перевершувати хоч сотню репортерів за своїми можливостями доступу до секретів. Але, як показує досвід, уміло зібрані фрагменти інформації з відкритих джерел за своєю сукупною значущістю можуть бути цілком еквівалентні, а іноді і перевершують суто секретні розвідувальні звіти.

Під якістю розуміємо, те що інформацію отриману з відкритих джерел можна перевірити з декількох джерел. В роботі розвідслужб будь-якої країни раз у раз бувають ситуації, коли кадрові співробітники готують свої звіти на основі отриманої від таємних агентів інформації, яка навмисне сфабрикована або просто фрагментарно використана з місцевих газет і прикрашена для надання їй важливості. У порівнянні з такими розвідданими звичайна інформація з відкритих джерел виявляється якіснішою хоча б у тому, що не викривлена фантазією агентів [10].

Критерій ясності відображає невизначена ступінь достовірності добутої інформації. Для аналітиків розвідки і політичних діячів серйозну проблему представляє невизначена ступінь достовірності добутої інформації, навіть якщо вона отримана через агентурні джерела. Наприклад, коли співробітник Аналітичного управління (DI) ЦРУ читає доповідь про іноземного лідера, складений на основі відомостей від «джерела з неперевіреною надійністю», то більш-менш ясно, як цей документ слід сприймати. Проблема стає куди складніше, якщо цікавий звіт складений за даними від «надійного джерела». Принципово важливо, яким саме є дане джерело. Працівником в офісі лідера, його братом, або ж коханкою брата дружини працівника офісу? Аналітик в Ленглі як правило ніколи не знає відповідь на це питання, тому що співробітники Оперативного управління (DO) ЦРУ ретельно оберігають свої джерела і методи отримання інформації.

Легкість використання. Будь-які таємниці прийнято оточувати бар'єрами з грифів секретності, принципів ізоляції інформації та особливих режимів доступу. Все це робить надзвичайно непростим не тільки процес передачі здобутих відомостей в певні структури, які приймають рішення, але і поширення важливих даних серед розвідників або суміжників з контррозвідки, не кажучи вже про поліцію. Що ж

стосується даних OSINT, то зрозуміло, що їх можна легко передавати в будь-які зацікавлені інстанції.

Критерій вартості відображає необхідні фінансові витрати на отримання розвідданих. Супутник видової розвідки, що запускається і підтримується в працездатному стані на орбіті за рахунок витрат в мільярди доларів, може надати фотографії того, як виглядає дах військового заводу або корпус нового підводного човна. З іншого боку, в правильно обраному іноземному журналі з ціною річної передплати близько сотні доларів можна виявити фотографії, зняті в цехах заводу або в середині тієї ж самої нової субмарини.

Проведення OSINT розвідки може здійснюватися за трьома типами здобування інформації: пасивного, напівпасивного і активного. Вибір пріоритетного типу залежить від сценарію, в якому працює процес збору даних, а також від типу даних, які цікавлять. Пасивний збір інформації-це найбільш часто використовуваний тип збору та обробки даних. Такий тип збору інформації використовується тільки через загальнодоступні ресурси. При проведенні напівпасивного типу збору інформації з технічної точки зору цей тип збору відправляє обмежений трафік на цільові сервери для отримання загальної інформації про них. Цей трафік намагається нагадувати типовий інтернет-трафік, щоб не привертати уваги до вашої розвідувальної діяльності. При веденні активного типу здобування інформації здійснюється взаємодія безпосередньо з системою, про яку збирається інформація. Власник може дізнатися про те що у відношенні до нього ведеться розвідка, так як людина / організація, яка збирає інформацію, буде використовувати передові методи для збору технічних даних про цільову IT-інфраструктуру, таких як доступ до відкритих портів, сканування вразливостей (наприклад, неліцензійний Windows), сканування додатків веб-сервера і т. д. Цей трафік буде виглядати як підозріле або зловмисна поведінка і залишить сліди в системі виявлення вторгнень (IDS) або системі запобігання вторгнень (IPS). Проведення атак соціальної інженерії вважається одним з видів активного збору інформації [11].

Для ведення такої розвідки необхідно використовувати певні інструменти, які мають доступ до відкритих джерел інформації. До стеку програмних продуктів та найбільш популярними інструментами збору інформації з відкритих джерел відносяться: Shodan, Maltego, Google Dorks, Foca, Spyse.

Shodan – пошуковик по пристроях, підключених до мережі (в т.ч. інтернет і веб-додатки). Розділ «Explore» допоможе почати пошуки, так як туди збираються запити користувачів. Щоб отримати доступ до розширеного пошуку, треба зареєструватися. У платних версіях надається доступ до більшої кількості пристроїв, а також необмежену кількість пошукових запитів в добу.

Maltego – програмне забезпечення яке збирає всі дані, допомагає побачити взаємозв'язок і зробити висновки. Результат візуалізуються у вигляді дерева, що збирає в єдину систему IP-адреси, e-mails, телефони, домени.

Google Dorks – це запити в Googl з використанням спеціальних операторів. Для пошуку точного словосполучення потрібно поставити слова в лапки, а щоб виключити будь-які дані з видачі, необхідно поставити перед ним «-».

Foca – програма, яка допомагає з вивантаженням, класифікацією і аналізом файлів на віддаленому веб-

сервері. Для цього вона сканує певний домен за допомогою пошукових систем Google, Bing, DuckDuckGo. Цей програмний продукт безкоштовний і швидко встановлюється.

Spyse – пошуковик по технічній інформації веб-сайтів. Використання якого надає можливість встановити різноманітні дані, на кшталт вразливостей, IP-адрес, субдоменів і SSL / TLS.

Отже, запропонований метод ведення OSINT розвідки надасть можливість визначити цільові аудиторії для реалізації стратегічного нарративу держави з мінімальними затратами часу та коштів.

В стратегічних комунікаціях під цільовою аудиторією розуміється не тільки й не стільки спільність людей, об'єднаних національними, соціальними або майновими ознаками, що проживають у деякій країні, а в першу чергу спільність, що поділяє однакову систему цінностей.

До суб'єктів, що формують цільову аудиторію належать: органи державної влади та місцевого самоврядування; політичні партії, громадські організації, об'єднання, рухи та блоки; засоби масової інформації; релігійні, національні та інші організації; соціальні групи; окремі посадові, військові службові особи; органи військового управління, правоохоронні і спеціальні органи; політичні та громадські лідери, які невійськовими (або військовими) засобами відстоюють (або реалізують) державні, колективні, політичні та особисті інтереси, цілі тощо. Тобто можна зробити визначення, що цільова аудиторія – це фізична особа, декілька осіб або визначена група людей, які об'єднані за певними критеріями (вікові, релігійні, суспільні, політичні, соціальні, психологічні чи інші) та мають певний спільний інтерес чи наміри та на яких розробляється та розраховується той чи інший продукт для подальшої зміни в їхній поведінці в процесі проведення інформаційної чи психологічної операцій.

При реалізації Концепції стратегічних комунікацій Міністерства оборони України та Збройних Сил України заходи інформаційно-психологічного впливу будуть здійснюватись на окупованих територіях, на підконтрольних територіях для популяризації проєвропейського курсу держави буде проводитись інформування населення [12].

Щоб ефективно використовувати наявні сили та засоби системи стратегічних комунікацій Міністерства оборони та Збройних Сил України при розробленні матеріалів інформування пропонується використовувати паспорт цільової аудиторії де будуть описані потреби тієї чи іншої аудиторії, що дозволить виробнику матеріалу визначити потребу цільової аудиторії та відповідний інформаційний продукт. Звісно що найбільшого успіху можливо досягнути тільки у тому випадку, коли зібрано та узагальнено всі характеристики споживача інформаційного продукту (цільової аудиторії) – результатом цієї роботи є паспорт (відомості про загальні данні) цільової аудиторії (Рис. 2).

Паспорт цільової аудиторії являє собою двосторонній бланк, який по заповненню включає п'ять пунктів, що містять відомості про загальні характеристики цільової аудиторії, її цілі та

цінності, інформацію про труднощі та больові точки, потреби та інформаційні джерела, тобто з яких джерел отримує інформацію цільова аудиторія [9].



Рис. 2. Паспорт цільової аудиторії

В загальних відомостях відображаються данні про середній вік, стать, місце проживання, відношення до релігії, освіта, середній дохід та чим займається цільова аудиторія. Також важливими характеристиками що зазначаються у цьому пункті є наявні критерії оцінки, які можуть бути: специфічними; піддаватися вимірюванню (дані можуть бути визначені кількісно); помітні (наочні) – (дані можна побачити чи почути). За потреби визначаються додаткові необхідні відомості про цільову аудиторію та цитата, яка дасть коротку характеристику цієї аудиторії і буде використовуватись в подальшому плануванні інформаційних та психологічних операцій як псевдонім (шифр) з метою запобігання щодо розголошення відомостей з обмеженим доступом.

В пункті "Цілі та цінності" відображаються данні про те, чого бажає досягти цільова аудиторія, що є для неї важливим та її цінності, будь-які матеріальні або ідеальні явища, які мають значення для цільової аудиторії, заради якого вона діє, витрачає сили, час, гроші, здоров'я тощо, заради якого вона живе. Також зазначаються відомості про політичні погляди (відношення до влади та Збройних Сил).

В пункті "Джерела інформації" визначається, в який спосіб цільова аудиторія отримує інформаційний продукт, та встановлюється, які способи інформування користуються більшою довірою серед цільової аудиторії, що надасть можливість визначити самі ефективні способи інформування для проведення інформаційних та психологічних впливів з практичної точки зору. Також в цьому блоці зазначаються відомості про формальних чи неформальних лідерів, керівництво яких визнають всі члени цільової аудиторії та покладаються на нього у прийнятті серйозних рішень і вирішенні важливих проблем. За потреби визначаються додаткові необхідні відомості про цільову аудиторію.

В розділі "Труidнощі та больові точки" відображаються відомості про критерії уразливості цільової аудиторії. Уразливість – це характеристика, мотив чи умова, які можуть бути використані для здійснення впливу на думку (поведінку) цільової аудиторії. До них відносяться психологічна уразливість, демографічна уразливість та символи. Психологічна уразливість включає показники страху,

ненависті, гніву невдоволеності. Демографічна уразливість включає в себе показники етнічності, політичної приналежності, освіти, місця проживання та географічні умови. Символи – це любі візуальні, слухові чи змішані знаки, які мають культурне чи контекстуальне значення для цільової аудиторії. Вони служать для передачі складних ідей і емоцій у відносно простих зображень або звуків. Пов'язуючи або уникаючи символів, які викликають певні емоції або передають певні ідеї цільовій аудиторії, інформаційна чи психологічна операція може значно збільшити переконливість аргументу (інформаційного продукту).

В пункті “Потреби” містяться відомості про загальне розуміння цільовою аудиторією необхідних матеріальних та нематеріальних потреб для подальшого існування. Причини, що заважають досягнути бажаної думки (поведінки) цільової аудиторії, до них відносяться: економічні (доходи, робота, інфраструктура), політичні (закони, вибори, лідери), соціальні та культурні (культурні норми, віросповідання), або фізичні (місцевість, погодні умови, санітарні умови). Відображаються фактори, які послідовно склалися в навколишньому середовищі цільової аудиторії, які впливають на поведінку та події, які склалися ментально і впливають на поведінку. Також відображаються дані про головний аргумент. Головним аргументом є причина того, чому саме цільова аудиторія повинна змінити свою думку (поведінку) на бажану. Тобто аргумент надає керівництво і загальну основу для побудови інформаційних та психологічних операцій, щоб в кінцевому рахунку переконати цільову аудиторію думати або поводитися бажаним чином.

### Література

**1. Войтко О.В.** Оцінювання ефективності функціонування системи стратегічних комунікацій Міністерства оборони та Збройних Сил України. Науковий журнал “Системи управління, навігації та зв’язку”. 2018. – №3(49). – С. 97-99. **2. Марк Шеррінгтон** Незримые ценности бренда. 2006. 304 с. URL: <https://www.livelib.ru/author/122455/top-m-sherrington>. **3. Солонніков В.Г., Войтко О.В., Пащенко Т.П.** Обґрунтування реалізації стратегічного нарративу держави. Науковий журнал “Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони”. 2020. №1(37). – С. 203-212. **4. Войтко О.В., Солонніков В.Г., Полякова О.В.** Особливості застосування методу фрактального аналізу сталості процесу розвитку громадської думки при реалізації стратегічного нарративу держави. Науковий журнал “Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони”. 2020. №2(38). – С. 145-150. **5. Войтко О.В.** Оцінювання ефективності функціонування системи стратегічних комунікацій Міністерства оборони та Збройних Сил України. Науковий журнал “Системи управління, навігації та зв’язку”. 2018. №3(49). – С. 97-99. **6. Кацалап В.О., Войтко О.В., Чернега В.М.** Методика оцінки загроз інформаційній

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Основною ціллю для системи стратегічних комунікацій Міністерства оборони та Збройних Сил України є досягнення стратегічного нарративу. Як зазначалось вище, статистика громадської думки щодо підтримки вступу до ЄС та НАТО дещо зменшується тому таким нарративом для цієї системи має бути зміна громадської думки для підтримки стратегічного курсу держави.

Отже, запропонований підхід щодо аналізу відкритих джерел при розробленні паспорту цільової аудиторії в інтересах реалізації стратегічного нарративу держави надасть можливість вірно побудувати та реалізувати систему інформаційної безпеки у воєнній сфері у формі стратегічних комунікацій Міністерства оборони та Збройних Сил України. Проведений аналіз надасть можливість визначити основні потреби та вразливі місця цільових аудиторій та реалізувати інтереси держави у вигляді підтримки населення щодо стратегічного курсу держави на набуття повноправного членства України в ЄС та НАТО.

Подальший розвиток цього дослідження необхідно проводити на основі сучасних наукових методів теорії соціальних досліджень та досліджень каналів розповсюдження інформації. Встановлення ступеню ефективності цих каналів. Особливо важливо провести дослідження каналів отримання інформації на тимчасово окупованих територіях Донецької та Луганської областей, а також Автономної республіки Крим, які характеризують потреби кожної цільової аудиторії. Це дасть можливість ефективно розповсюджувати аргументовані повідомлення та отримати необхідний рівень підтримки населення, щодо реалізації стратегічного нарративу держави.

безпеці України у воєнній сфері. Науковий журнал “Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони”. 2018. №1(31). – С.149-154. **7. Войтко О.В., Кацалап В.О., Чернега В.М.** Особливості сприйняття та реагування на отриману інформацію. Науковий журнал “Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони”. 2019. №3(36). – С. 171-174. **8.** Разведка на основе открытых источников. Інтернет ресурс URL: <https://www.internetworldstats.com>. **9. Войтко О.В.** Реалізації державної інформаційної політики та забезпечення інформаційної безпеки в умовах конфлікту з Російською Федерацією. Міжнародний науковий журнал “Грааль науки” № 1 (Лютий, 2021). – С. 164-166. **10. Киви Берд** Модель OSINT. Разведка без тайн. Інтернет ресурс URL: <https://www.litmir.me/br/?b=132711&p=1>. **11. K.Molodetska, V.Solonnikov, O.Voitko** Counteraction to information influence in social networking services by means of fuzzy logic system. “International Journal of Electrical and Computer Engineering” Vol. 11. № 3 – 2020. – P.2490-2499. **12.** Про затвердження Концепції стратегічних комунікацій Міністерства оборони України та Збройних Сил України: Наказ Міністра оборони України від 22.11.2017 р. №612/2017. URL: <http://www.mil.gov.ua>.

## ПАСПОРТА ЦЕЛЕВЫХ АУДИТОРИЙ В ИНТЕРЕСАХ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО НАРРАТИВА ГОСУДАРСТВА

*Александр Владимирович Войтко (кандидат военных наук)*

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

*В статье рассматривается анализ открытых источников основанный на методе OSINT*

разведки при разработке паспорта целевой аудитории в интересах реализации стратегического нарратива государства.

Для достижения цели статье автором обобщены подходы к анализу открытых источников информации и разработаны предложения по формированию паспорта целевой аудитории. Определены процессы ведения разведки из открытых источников информации, обоснованы критерии предъявляемые к разведанным полученным из открытых источников информации. Рассмотрены типы ведения такой разведки. Обобщенные критерии разрешили определить перечень программных продуктов, рационально использовать при проведении разведки из открытых источников, а также проведен краткий обзор и возможности этих программных продуктов.

С целью обобщения и систематизации полученных разведанных из открытых источников автором предложено создание паспорта целевой аудитории. Рассмотрена общая структура самого бланка паспорта и особенности структуры заполнения полученной информации из открытых источников.

Предложенный подход к анализу открытых источников при разработке паспорта целевой аудитории в интересах реализации стратегического нарратива государства позволит верно построить и реализовать систему информационной безопасности в военной сфере в форме стратегических коммуникаций Министерства обороны и Вооруженных Сил Украины. Проведенный анализ позволит определить основные потребности и уязвимые места целевых аудиторий и реализовать интересы государства в виде поддержки населения по стратегическому курсу государства на приобретение полноправного членства Украины в ЕС и НАТО.

**Ключевые слова:** OSINT разведка, целевая аудитория, стратегический нарратив.

## FEATURES OF ANALYSIS OF OPEN SOURCES IN THE DEVELOPMENT OF THE PASSPORT OF TARGET AUDIENCES IN THE INTEREST OF THE IMPLEMENTATION OF STRATEGIC DERATOR

*Oleksandr Voitko (Candidate of Military Sciences)*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

The article considers the analysis of open sources based on the method of OSINT intelligence in the development of passports of the target audience in the interests of the implementation of the strategic narrative of the state.

To achieve the goal of the article, the author generalized approaches to the analysis of open sources of information and developed proposals for the formation of the passport of the target audience. The process of conducting intelligence from open sources of information is defined, the criteria which are put forward to the intelligence received from open sources of information are substantiated. The types of conducting such reconnaissance are considered. The generalized criteria made it possible to determine the list of software products that can be rationally used in open source exploration, as well as a brief overview and capabilities of these software products.

In order to summarize and systematize the information obtained from open sources, the author proposes to create a passport of the target audience. The general structure of the passport form and features of the structure of filling in the received information from open sources are considered.

The proposed approach to the analysis of open sources in the development of the target audience's passports in the interests of the strategic narrative of the state will allow to correctly build and implement a system of information security in the military sphere in the form of strategic communications of the Ministry of Defense and the Armed Forces of Ukraine. The analysis will provide an opportunity to identify the main needs and vulnerabilities of target audiences and realize the interests of the state in the form of public support for the strategic course of the state to gain full membership of Ukraine in the EU and NATO.

**Key words:** OSINT intelligence, target audience, strategic narrative.

### References

- 1. Voitko O.V.** Ocinjuvannja efektyvnosti funkcionuvannja systemy strategichnykh komunikacij Ministerstva obrony ta Zbrojnykh Syl Ukrainy. Naukovyj zhurnal "Systemy upravlinnja, navigacij i ta zv'jazku". 2018. – № 3(49). – S. 97-99.
- 2. Mark Sherrington** Nezrimvie tsennosti brenda 2006. 304 c.
- 3. Solonnikov V.G., Voitko O.V., Pashhenko T.P.** Obruntuvannja realizaciji strategichnogho naratyvu derzhavv. Naukovyj zhurnal "Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta obrony". 2020. № 1(37). – S. 203-212.
- 4. Voitko O.V., Solonnikov V.G., Poljakova O.V.** Osoblyvosti zastosuvannja metodu fraktaljnogho analizu stalosti procesu rozvytku ghromadsjkoji dumky pry realizaciji strategichnogho naratyvu derzhavy. Naukovyj zhurnal "Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta obrony". 2020. № 2(38). – S. 145-150.
- 5. Voitko O.V.** Ocinjuvannja efektyvnosti funkcionuvannja systemy strategichnykh komunikacij Ministerstva obrony ta Zbrojnykh Syl Ukrainy. Naukovyj zhurnal "Systemy upravlinnja, navigacij i ta zv'jazku". 2018. № 3(49). – S. 97-99.
- 6. Kacalap V.O., Voitko O.V., Chernegha V.M.** Metodyka ocinky zagroz informacijnij bezpeci Ukrainy u vojennij sferi. Naukovyj zhurnal "Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta obrony". 2018. № 1(31). – S.149-154.
- 7. Voitko O.V., Kacalap V.O., Chernegha V.M.** Osoblyvosti sprvinjattja ta reaghuvannja na otrymanu informaciju. Naukovyj zhurnal "Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta obrony". 2019. № 3(36). – S.171-174.
- 8.** Razvedka na osnove otkrytyih istochnikov. Internet resurs.
- 9. Voitko O.V.** Realizaciji derzhavnoji informacijnoji polityky ta zabezpechennja informacijnoji bezpeky v umovakh konfliktu z Rosijskoju Federacijeu. Mizhnarodnyj naukovyj zhurnal "Ghraalj nauky" № 1 (Ljutyj, 2021). – S. 164-166.
- 10. Kyvy Berd** Modelj OSINT. Razvedka bez tajn. Internet resurs
- 11. K.Molodetska, V.Solonnikov, O.Voitko** Counteraction to information influence in social networking services by means of fuzzy logic system. "International Journal of Electrical and Computer Engineering" Vol. 11. № 3 – 2020. – P.2490-2499.
- 12.** Pro zatverdzhennja Koncepciji strategichnykh komunikacij Ministerstva obrony Ukrainy ta Zbrojnykh Syl Ukrainy: Nakaz Ministra obrony Ukrainy vid 22.11.2017 r. № 612/2017.

## МОДЕЛЬ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ СФЕРИ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВОЄННОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ

В умовах відсутності в обраній предметній області закінченої теорії незамінним інструментом дослідника залишається модель об'єкта чи явища, що підлягає дослідженню. Не зважаючи на конкретні особливості моделі, слід зазначити, що процес отримання необхідної моделі завжди базується на ретельному вивченні об'єкта-оригінала. Якщо механізм функціонування об'єкта-оригінала доступний для розкриття та розуміння, а його окремі складові піддаються повному (в межах дослідження) вивченню, то в такому випадку природною є побудова та подальше застосування імітаційної моделі.

Але теорія воєнної безпеки держави має справу з об'єктами та явищами, властивості яких в різній мірі, але завжди знаходяться в залежності від "людського фактору", отже важко піддаються формалізації. Цей факт означає, що, як правило, "істинний" механізм функціонування об'єкту дослідження залишається для дослідника скритим, а вивчення властивостей окремих складових об'єкта дослідження в потрібній мірі неможливе. Проте і в таких випадках є потреба застосування в дослідженні відповідних моделей, причому сам об'єкт дослідження уявляється як деякий "чорний ящик".

Одним із різновидів видів моделювання, який враховує і притаманні певному суб'єкту особливості сприйняття ситуації, і нечіткість опису ситуації та об'єкту моделювання, та базується на застосуванні формальних методів, є когнітивне моделювання.

В статті розглядається когнітивна модель науково-технічної сфери як складової забезпечення воєнної безпеки держави. На основі відомої моделі розглянуто способи визначення структури та параметрів моделі, її застосування для визначення найбільш впливових факторів на цілі функціонування системи, а також способи модифікації моделі для урахування поточних реалій.

**Ключові слова:** воєнна безпека держави, когнітивна модель, лінгвістичні змінні, вектор цілей, вектор управління.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В умовах відсутності в обраній предметній області закінченої теорії незамінним інструментом дослідника залишається модель об'єкта чи явища, що підлягає дослідженню. Не зважаючи на конкретні особливості моделі, слід зазначити, що процес отримання необхідної моделі завжди базується на ретельному вивченні об'єкта-оригінала. Якщо механізм функціонування об'єкта-оригінала доступний для розкриття та розуміння, а його окремі складові піддаються повному (в межах дослідження) вивченню, то в такому випадку природною є побудова та подальше застосування імітаційної моделі.

Але теорія воєнної безпеки держави має справу з об'єктами та явищами, властивості яких в різній мірі, але завжди знаходяться в залежності від "людського фактору", отже важко піддаються формалізації. Цей факт означає, що, як правило, "істинний" механізм функціонування об'єкту дослідження залишається для дослідника скритим,

а вивчення властивостей окремих складових об'єкта дослідження в потрібній мірі неможливе. Проте і в таких випадках є потреба застосування в дослідженні відповідних моделей, причому сам об'єкт дослідження уявляється як деякий "чорний ящик".

Одним із різновидів видів моделювання, який враховує і притаманні певному суб'єкту особливості сприйняття ситуації, і нечіткість опису ситуації та об'єкту моделювання, та базується на застосуванні формальних методів, є когнітивне моделювання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останні двадцять років широкої відомості набула відносно невелика кількість формальних методів оцінки стану воєнної безпеки держави та розрахунків заходів щодо її забезпечення. Так, широковідомими є практично єдиний метод прогнозування динаміки воєнно-політичної обстановки на основі методології сценарного аналізу соціально-економічних систем [1] та методика аналізу та оцінки рівня національної безпеки та її

складових на основі порівняльного аналізу на основі методів таксономії з елементами факторного аналізу [2]. Наряду з зазначеними вітчизняними розробками на увагу заслуговує робота російських колег, присвячена питанням когнітивного моделювання воєнної безпеки держави [3]. Далі буде розглянута одна із складових цього комплексу моделей – модель науково-технічної сфери.

**Метою статті є** розкриття методів визначення структури та параметрів моделі науково-технічної сфери забезпечення воєнної безпеки на основі вже відомої моделі, порядку застосування моделі для визначення найбільш впливових факторів на цілі функціонування останньої, а також способів модифікації моделі для урахування поточних реалій.

### Виклад основного матеріалу дослідження

У [3] наведено комплекс когнітивних моделей оборонно-промислового комплексу Росії. Однією з складових цього комплексу є модель науково-технічної сфери. Слід зазначити, що когнітивна модель є відображенням сприйняття деяким суб'єктом певної ситуації. В основі когнітивної моделі лежить когнітивна карта, для математичної

формалізації якої застосовується нечітка логіка, теорія графів та теорія матриць.

Взагалі, процедура когнітивного моделювання в [3] представлена як циклічний процес, що містить п'ять взаємопов'язаних етапів: когнітивна структуризація, структурний аналіз когнітивної моделі, сценарне моделювання розвитку ситуації, оцінювання та інтерпретація результатів моделювання, когнітивний моніторинг ситуації.

Формалізована когнітивна карта є результатом *когнітивної структуризації*, метою якої є: формування множини базисних факторів, визначення початкових параметрів базисних факторів, визначення причинно-наслідкових відношень між базисними факторами та визначення параметрів таких відношень. Також на множині базисних факторів задаються підмножини цільових факторів (що найбільше характеризують стан об'єкту управління) та факторів управління (пов'язані з об'єктом управління чи зовнішнім середовищем). При цьому параметри базисних факторів та причинно-наслідкових зв'язків між ними є лінгвістичними змінними, можливі значення яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення лінгвістичних змінних

Лінгвістичне значення змінної (фактору)	Лінгвістичне значення зв'язку	Числове значення
Не змінюється	Не впливає	0
Дуже слабко зростає (спадає)	Дуже слабко підсилює (послаблює)	0,2 (-0,2)
Слабко зростає (спадає)	Слабко підсилює (послаблює)	0,4 (-0,4)
Помірно зростає (спадає)	Помірно підсилює (послаблює)	0,6 (-0,6)
Сильно зростає (спадає)	Сильно підсилює (послаблює)	0,8 (-0,8)
Дуже сильно зростає (спадає)	Дуже сильно підсилює (послаблює)	1,0 (-1,0)

Базисні фактори когнітивної моделі науково-технічної сфери, їх початкові значення (визначені в [3] методом кодування та аналізу текстів) та оцінка динаміки факторів (ОДФ) наведені в табл. 2. ОДФ є одним із результатів *структурного аналізу когнітивної карти*. Для його проведення висувається гіпотеза цілепокладання, згідно з якою особа, що приймає рішення (ОПР), може вказати бажаний напрямок зміни базисних факторів (бажане приймає значення "+1", небажане – "-1", "0" – оцінка ускладнена). Іншими цілями структурного аналізу є перевірка вектора цілей на

непротирічність, перевірка узгодженості факторів управління з вектором цілей та оцінка ефективності інтегрального впливу факторів управління на цільові.

У таблиці використовуються загальноприйняті скорочення (ОПК – оборонно-промисловий комплекс, НДР – науково-дослідна робота, ДКР – дослідно-конструкторська робота).

Когнітивна модель у вигляді зваженого орієнтованого графа, на якому вказана вага зв'язків, наведена на рис.1. Номер вершини графа є номером фактора в табл. 2.

Таблиця 2

Базисні фактори, їх початкові значення ОДФ

№ з/п	Назва фактору	Значення	ОДФ
1	Науково-технічний потенціал ОПК	0	1
2	Кількість кваліфікованих наукових робітників на підприємствах ОПК	-0,2	1
3	Науково-технологічний заділ підприємств ОПК	-0,4	1
4	Матеріально-технічна база наукових досліджень	-0,6	1
5	Привабливість наукової роботи на підприємствах ОПК	-0,4	1



№ з/п	Назва фактору	Значення	ОДФ
6	Кваліфікація наукових робітників підприємств ОПК	-0,4	1
7	Об'єм та інтенсивність НДР та ДКР	0,4	1
8	Об'єм зовнішніх інвестицій	0,2	1
9	Рівень заробітної плати наукових працівників підприємств ОПК	-0,6	1
10	Державне фінансування НДР та ДКР	0	1
11	Власні кошти підприємств ОПК	0	1
12	Витрати підприємств ОПК на проведення НДР та ДКР	0	-1
13	Прибуток підприємств ОПК	0	1
14	Інтенсивність передачі технологій подвійного призначення	0	1

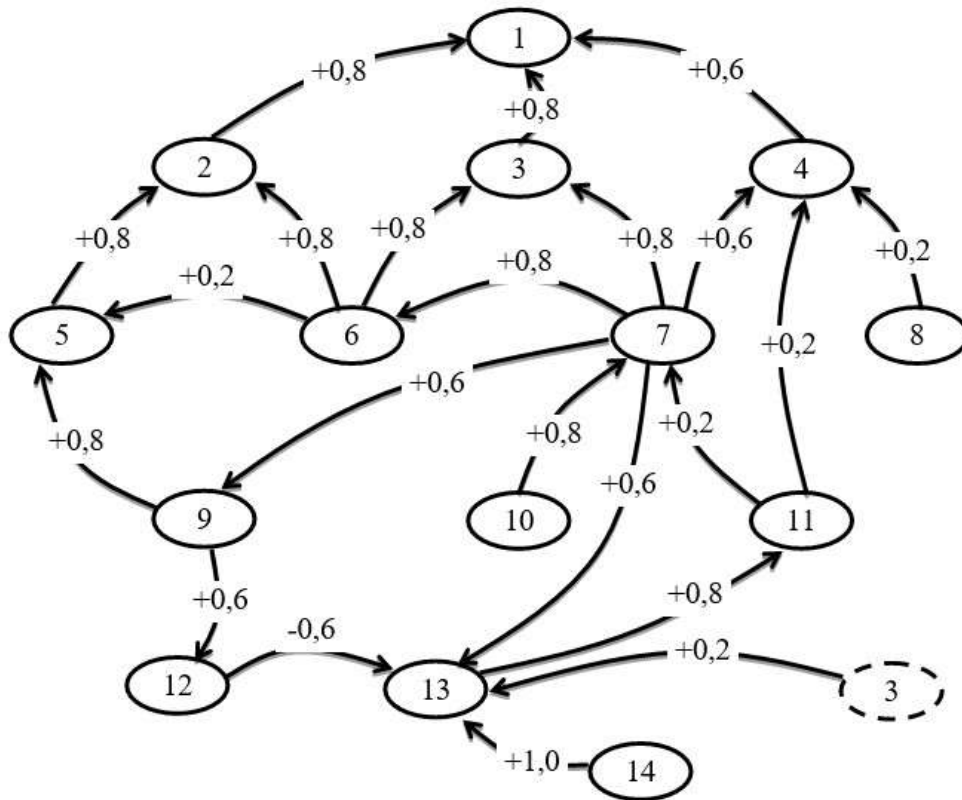


Рис.1. Когнітивна модель науково-технічної сфери

Математика когнітивної моделі зводиться до того, що всі взаємодії факторів визначаються тільки матрицею суміжності вершин орієнтованого графа. У даному випадку матриця суміжності має вигляд

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ +0,8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ +0,8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +0,20 & 0 \\ +0,6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & +0,8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & +0,8 & +0,8 & 0 & +0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & +0,8 & +0,6 & 0 & +0,8 & 0 & 0 & +0,60 & 0 & 0 & 0 & +0,60 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & +0,2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +0,8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +0,6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +0,80 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & +0,2 & 0 & 0 & +0,20 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,60 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +1,0 \end{pmatrix}$$

Визначення змін значень параметрів базисних факторів визначається видом математичної моделі і є суттю *сценарного моделювання*. У [3] розглядаються тільки лінійні когнітивні моделі (засновані на лінійній алгебрі), для яких в основу

моделі покладена гіпотеза про те, що поточне прирощення кожного фактору є зваженою сумою поточних прирощень факторів, які на цей фактор впливають. Початкові значення факторів (а точніше, в нашому прикладі – значення зміни факторів) на момент часу  $t$  задаються вектором

$$X^T(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_{14}(t)).$$

Для наведеного прикладу

$$X^T(t) = (0; -0,2; -0,4; -0,6; -0,4; -0,4; 0,4; 0,2; -0,6; 0; 0; 0; 0; 0)$$

Тоді значення вектору зміни значень факторів в наступний момент часу в матричній формі задається рівнянням

$$X^T(t+1) = W \cdot X(t) \tag{1}$$

Слід зазначити, що момент часу  $t+1$  жорстко визначається тим часовим інтервалом, на якому здійснена оцінка початкових значень зміни факторів. Наприклад, якщо початкові значення змін факторів оцінювалися за один місяць, то і

момент часу  $t+1$  настане після моменту часу  $t$  через один місяць. Також варто звертати увагу ще й на таку особливість наведеної когнітивної моделі, як затухання наслідків разового локального впливу. Це передбачає, що будь-який стан системи (точніше, її моделі) є стійким. Достатньою умовою затухання наслідків одиничного впливу є те, що відображення вектора  $X(t)$  у вектор  $X(t+1)$  повинно бути стискаючим. Ця умова забезпечується, якщо значення матриці  $W$  заключні в інтервалі від -1 до +1 (що має місце у даному випадку).

Легко побачити шляхом багатокрокового застосування (1), що запропонована модель з наведеними початковими даними та вагами зв'язків досить швидко переходить у сталий стан, тобто коли зміни значень факторів не відбуваються (точніше, зміни стають невідчутно малими та коливаються навколо нуля). В такий стан ми переходимо вже на 10-му кроці застосування моделі.

Якщо відокремити модель науково-технічної сфери із комплексу когнітивних моделей ОПК [3], то вектор цілей складається з факторів, наведених в табл. 3, вектор управління наведено в табл. 4.

Таблиця 3

Вектор цілей

№ з/п	Назва фактору	Важливість	Категорія	Значення
1	Науково-технічний потенціал ОПК	5	1	0,8
11	Власні кошти підприємств ОПК	4	1	0,8

Таблиця 4

Вектор управління

№ з/п	Назва фактору	Цінність ресурсу
5	Привабливість наукової роботи на підприємствах ОПК	0
8	Об'єм зовнішніх інвестицій	2
12	Витрати підприємств ОПК на проведення НДР та ДКР	0
14	Інтенсивність передачі технологій подвійного призначення	0

Якщо фактор віднести до цільового та позначити його через  $y_i$ , а ОДФ відповідно через  $r_{y_i}$ , то умову непротиворічності цілей можна записати як

$$r_{y_i} \times r_{y_j} = \text{sign } q_{ij}, \forall y_i, y_j \in Y$$

де  $q_{ij}$  – елемент матриці  $Q \equiv (E - W)^{-1}$  (результат транзитивного замикання матриці суміжності).

Не важко перевірити, що  $q_{1,11} = 0$ ,  $q_{11,1} = 0,68$ , отже поставлені цілі є непротивірними і мають односторонній позитивний зв'язок.

Якщо фактор управління позначити  $u_i$ , тоді вектор управління  $u$  є узгодженим з вектором цілей  $y$ , якщо для кожної координати  $u_i$  вектора  $u$  можна вказати такий знак, що для результуючого знакового вектора  $\text{sign } u$ .

$$r_{y_i} = \text{sign } q_{ij} \times \text{sign } u_i, \forall y_i \in Y, \forall u_i \in U$$

Також не важко перевірити, що остання умова теж виконується.

Для формальної оцінки показника ефективності фактора управління  $E(u_i)$  розраховується абсолютне значення суми коефіцієнтів інтегрального впливу даного фактора, помножені на ОДФ цільових факторів.

$$E(u_i) = \left| \sum_{j=1}^m q_{ij} r_{y_j} \right|$$

Тут індекс  $i$  відноситься до управління, а індекс  $j$  – до цілей.

Оскільки ОДФ цілей у даному прикладі є додатними, їх можна опустити, тоді в результаті маємо

$$E(u_5) = |q_{5,1} + q_{5,11}| = 0,64,$$

$$E(u_8) = |q_{8,1} + q_{8,11}| = 0,12,$$

$$E(u_{12}) = |q_{12,1} + q_{12,11}| = 0,8,$$

$$E(u_{14}) = |q_{14,1} + q_{14,11}| = 1,44.$$

Таким чином, аналіз показує, що найбільш сильним впливом на цілі функціонування науково-технічної сфери забезпечення воєнної безпеки держави є фактор інтенсивності передачі технологій подвійного призначення, другим за ним є фактор витрат на проведення НДР та ДКР.

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Отже, наразі розглянуто структуру та параметри когнітивної моделі науково-технічної сфери, а також порядок застосування цієї моделі для визначення найбільш впливових факторів на цілі функціонування науково-технічної сфери.

Розглянута модель була розроблена для комплексу когнітивних моделей ОПК Росії, проте,

враховуючи до недавнього часу наявність дуже сильного зв'язку між ОПК Росії та України, можна вважати дану модель корисною і для вітчизняних фахівців, які займаються питаннями воєнної безпеки держави. Безперечно, що для такого використання модель потребує деяких уточнень. Скоріше за все, перелік базових факторів та зв'язки між ними для реалій українського ОПК залишаться ті ж самі, або зазнають досить незначних змін. А от ваги зв'язків та початкові стани факторів можуть суттєво відрізнятись. Для оцінки їх числових значень можна також використати методику гіпертекстового моделювання, як і в [3], коли числові оцінки отримуються шляхом кодування тексту та анкетування. Можна використати один з експертних методів оцінки, який буде задовольняти потреби дослідників. Можна також скористатися оптимізаційними методами, якщо відома деяка попередня

статистика функціонування науково-технічної сфери. Розглянемо цей підхід трішечки докладніше.

Модель науково-технічної сфери містить багато рівнянь типу

$$x_j = a_{ij}x_i.$$

Якщо для змінних  $x_j$  та  $x_i$  відомі їх значення в попередні моменти часу, наприклад задані у вигляді векторів  $X_j^T = (x_j(t-2); x_j(t-1); x_j(t))$  та

$X_i^T = (x_i(t-2); x_i(t-1); x_i(t))$ , тоді коефіцієнт  $a_{ij}$  можна легко визначити за методом найменших квадратів (МНК)  $a_{ij} = (X_i^T X_i)^{-1} X_i^T X_j$ .

Якщо уточнення потребуватимуть не тільки параметри моделі, а і її структура (уточнення наявних зв'язків), тоді можна використати метод структурно-параметричної ідентифікації моделей на основі того ж МНК, наприклад, широко відомий метод групового врахування аргументів.

### Література

1. **Богданович В. Ю.** Теоретические основы анализа проблем национальной безопасности государства в военной сфере: Монография / Богданович В. Ю. // – К. : Основа, 2006. – 296 с.

2. **Косевцов В. О.** Методичний підхід до аналізу й оцінки рівня національної безпеки та її складових /

Косевцов В. О., Бінько І. Ф., Матвієвський О. М. // Наука і оборона. – 1995. - № 1. – С. 74–77.

3. **Макаренко Д.И.,** Хрусталева Е.Ю. Концептуальное моделирование военной безопасности государства / Д.И. Макаренко, Е.Ю. Хрусталева; Центр, экон.-мат. ин-т РАН; Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. - М.: Наука, 2008. - 303 с.

## МОДЕЛЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЫ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

*Олена Вікторівна Дергилева (кандидат технических наук, с.н.с.)*

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

*В условиях отсутствия в выбранной предметной области законченной теории незаменимым инструментом исследователя остается модель объекта или явления, подлежащего исследованию. Несмотря на конкретные особенности модели, следует отметить, что процесс получения необходимой модели всегда базируется на тщательном изучении объекта-оригинала. Если механизм функционирования объекта-оригинала доступен для раскрытия и понимания, а его отдельные составляющие поддаются полному (в рамках исследования) изучению, то в таком случае естественной является построение и дальнейшее применение имитационной модели.*

*Но теория военной безопасности государства имеет дело с объектами и явлениями, свойства которых в разной степени, но всегда находятся в зависимости от "человеческого фактора", так что трудно поддаются формализации. Этот факт означает, что, как правило, "истинный" механизм функционирования объекта исследования остается для исследователя скрытым, а изучение свойств отдельных составляющих объекта исследования в нужной степени невозможно. Однако и в таких случаях необходимость применения в исследовании соответствующих моделей, причем сам объект исследования представляется как некий "черный ящик".*

*Одной из разновидностей видов моделирования, который учитывает и присущие определенному субъекту особенности восприятия ситуации, и нечеткость описания ситуации и объекта моделирования, и базируется на применении формальных методов, является когнитивное моделирование.*

*В статье рассматривается когнитивная модель научно-технической сферы как составляющей обеспечения военной безопасности государства. На основе известной модели рассмотрены способы*

определения структуры и параметров модели, ее применение для определения наиболее влиятельных факторов на цели функционирования системы, а также способы модификации модели для учета текущих реалий.

**Ключевые слова:** военная безопасность государства, когнитивная модель, лингвистические переменные, вектор целей, вектор управления.

## MODEL OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL SPHERE OF THE STATE MILITARY SECURITY SYSTEM

*Olena Derhylova (Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher)*

*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskiy, Kyiv, Ukraine*

*In the absence of a complete theory in the chosen subject area, the indispensable tool of the researcher remains the model of the object or phenomenon to be studied. Despite the specific features of the model, it should be noted that the process of obtaining the required model is always based on a careful study of the original object. If the mechanism of functioning of the original object is available for disclosure and understanding, and its individual components are subject to full (within the study) study, then it is natural to build and further apply a simulation model.*

*But the theory of military security of the state deals with objects and phenomena, the properties of which to varying degrees, but always depend on the "human factor", so it is difficult to formalize. This fact means that, as a rule, the "true" mechanism of functioning of the object of study remains hidden from the researcher, and the study of the properties of individual components of the object of study is impossible to the necessary extent. However, even in such cases, there is a need to use appropriate models in the study, and the object of study is presented as a kind of "black box".*

*Cognitive modeling is one of the types of modeling that takes into account both the peculiarities of the perception of the situation and the vagueness of the description of the situation and the object of modeling, and is based on the use of formal methods.*

*The article considers the cognitive model of the scientific and technical sphere as a component of ensuring the military security of the state. Based on the known model, the methods of determining the structure and parameters of the model, its application to determine the most influential factors for the functioning of the system, as well as ways to modify the model to take into account current realities.*

**Key words:** military security of the state, cognitive model, linguistic variables, vector of purposes, vector of management.

### References

1. Bogdanovich V. Yu. Teoreticheskie osnovy analiza problem natsionalnoy bezopasnosti gosudarstva v voennoy sfere: Monografiya / Bogdanovich V. Yu. // – K.: Osnova, 2006. – 296 s.
2. Kosevtsov V. O. Metodichniy pldhd do anallzu y otslnki rlvnya natslonalnoyi bezpeki ta YiYi skladovih / Kosevtsov V. O., Blnko I. F., MatvIEvskiy O. M. // Nauka I oborona. – 1995. - № 1. – S. 74–77.
3. Makarenko D.I., Hrustalev E.Yu. Kontseptualnoe modelirovanie voennoy bezopasnosti gosudarstva / D.I. Makarenko, E.Yu. Hrustalev; Tsentr, ekon.-mat. in-t RAN; In-t problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN. - M.: Nauka, 2008. - 303 s.

# 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 №409 від 17.03.2020 р. та №886 від 02.07.2020 р.  
журнал включено до Переліку наукових фахових видань України категорії “Б” в галузях  
“технічні науки” та “військові науки”, спеціальності – 122, 124, 253, 254”  
Наклад – 100 примірників, відкрите видання.

## Основні тематичні напрями журналу:

1. Військова кібернетика та системний аналіз
2. Протиборство у кібернетичному просторі
3. Військово-космічні та геоінформаційні технології
4. Інтелектуальні інформаційні технології та робототехніка у сфері безпеки та оборони
5. Інформаційно-аналітична діяльність у сфері безпеки та оборони
6. Розвиток теорії та практики створення інформаційно-телекомунікаційних систем
7. Стратегічні комунікації та когнітивні системи спеціального призначення
8. Інтерактивні моделі розвитку науково-освітнього простору;
9. Високотехнологічні аспекти воєнного мистецтва
10. Історичний дискурс розвитку високих оборонних технологій

## Схема оформлення статей

**DOI** (Arial, кегль – 11 пт.)

← 1 пустий рядок – 6 пт.

**УДК** (Arial, кегль – 11 пт.)

← 1 пустий рядок – 10 пт.

<sup>1</sup>Анатолій Анатолійович Іванов (д-р техн. наук, професор)

← (кегль – 11 та 8 пт.)

<sup>2</sup>Іван Іванович Петров (канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри)

← 1 пустий рядок – 6 пт.

<sup>1</sup>Університет..., Київ, Україна

← (кегль – 11 пт.)

<sup>2</sup>Інститут..., Київ, Україна

← 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) стисло і достатньо інформативно підсумовувати основні ідеї та отримані результати дослідження. Розмір анотації повинен становити не менше 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. (Обсяг анотації – не менше 250 слів.)

**Ключові слова:** поняття1; поняття 2; поняття3. (кегль – 10 пт.)

## Вимоги до набору

**Формат аркуша:** А4 (21 × 29,7 см).

**Параметри сторінки** (відступи від краю): зліва – 3 см.; справа – 2 см.; зверху – 2 см.; знизу – 2 см.

**Шрифт статті** – Times New Roman; накреслення – пряме; кегль – 10 пт.; міжрядковий інтервал – одинарний.

**Текст статті** розташовується у два стовпчики однакової ширини – 7,75 см.; відстань між стовпчиками – 0,5 см.; відступ першого рядка абзацу – 0,5 см.; вирівнювання – за шириною.

**Підзаголовок** – кегль – 12 пт.; накреслення – напівжирне; відступів немає; вирівнювання – центроване.

Не використовуйте для форматування тексту пропуски, табуляцію тощо. Не встановлюйте ручне перенесення слів, не використовуйте колонититули. Між значеннями величини та одиницею її вимірювання ставте нерозривний пропуск (Ctrl + Shift + пропуск).

**УВАГА! Остання сторінка статті заповнюється не менше 3/4, рекомендована парна кількість аркушів.**

**Кількість авторів – не більше трьох.**

**Набір формул:** редактор формул MS Equation.

**Забороняється** використовувати для набору формул графічні об'єкти, кадри й таблиці.

В меню “Размер → Определить” ввести такі розміри: Обычный – 10 пт.; Крупный индекс – 8 пт.; Мелкий индекс – 7 пт.; Крупный символ – 15 пт.; Мелкий символ – 9 пт.

Стиль формул – “прямий”, тобто в меню “Стиль → Определить” поля “Формат символів” – пусті.

Табличний заголовок (10 пт.) – **обов’язковий**.

Рисунки **обов’язково** супроводжуються центрованими підписаними підписами (кегль – 10).

**Не допускаються** кольорові та фонові рисунки.

Допускається розташування великих рисунків, формул та таблиць в одну колонку (до 16 см.).

Список літератури виділяється підзаголовком “Література” та оформлюється згідно з міждержавним стандартом ДСТУ 8302:2015 “(кегль – 9 пт.).”

## Структура рукопису

Відповідно до постанови ВАК України від 15.01.2003 № 7-05/1 текст статті повинен мати таку структуру: **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв’язок із важливими науковими чи практичними завданнями; **аналіз останніх досліджень і публікацій**, на які спирається автор; **формулювання мети статті** (постановка завдання); **виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих**

наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Текст статті розбивається на відповідні розділи з підзаголовками, які виділені напівжирним шрифтом.

Робочі мови – українська, російська, англійська.

На останньому аркуші статті після списку літератури наводяться: назва статті, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь та вчене звання автора (співавторів),

назва організації, у якій працює автор (співавтори), анотація та ключові слова українською, російською та англійською мовами (крім основної мови статті) за нижченаведеним зразком (10 кегль (8 для наукового ступеня, звання, посади), міжрядковий інтервал – 1,0, вирівнювання – по центру). **Обсяг анотації – не менше 250 слів.**

## НАЗВАННЯ СТАТТІ

<sup>1</sup>*Анатолій Анатолієвич Іванов (д-р техн. наук, професор)*

<sup>2</sup>*Іван Іванович Петров (канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри)*

<sup>1</sup>*Університет..., Київ, Україна*

<sup>2</sup>*Інститут..., Київ, Україна*

*Перевод текста аннотации и ключевых слов*

## ARTICLE TITLE

<sup>1</sup>*Anatolii Ivanov (Doctor of technical sciences, professor)*

<sup>2</sup>*Ivan Petrov (Candidate of technical Sciences, associate professor)*

<sup>1</sup>*University..., Kyiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*Institute..., Kyiv, Ukraine*

*Translation of the abstract and keywords*

англійською мовою за зразком (9 кегль):

Після цього наводиться список літератури

## References

1. Концепція розвитку телекомунікацій в Україні, схвалена Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 червня 2006 р. № 316-р. 2. **A.O. Moskalenko, Gh.V. Sokol.** Pereshkodostijkistj syghnaliv moduljaciji cyklichnym zsumom kodu z adaptacijeju po shvydkosti peredachi informaciji. *Systemy upravlinnja, navigaciji ta zv'jazku.* Kyjiv. 2018. № 3(49). S. 175-180. 3. **A.O. Moskalenko, S.V. Voloshko, I.I. Sljusarj** Pereshkodostijkistj syghnaliv udoskonalenoji moduljaciji cyklichnym zsumom kodu z adaptacijeju po shvydkosti peredachi informaciji v umovakh baghatopromenevogo

rozpovsjudzhennja radiokhvylyj. *Suchasni informacijni tekhnologhiji u sferi bezpeky ta oborony.* Kyjiv. 2015. № 2 (23). S. 35–39. 4. **A.A. Moskalenko, Gh.V. Sokol** Metod synteza syghnalov usovershenstvovannoji moduljaciji cyklicheskyym sdvyghom koda s adaptacijeju po skorosty peredachy ynformacyy. *Informacijno kerujuchi systemy na zaliznychnomu transporti.* Kharkiv. №3 (100).2013.S.71-75. 5. **G.M. Dillard et al.,** Cyclic Code Shift Keying: A Low Probability of Intercept Communication Technique // IEEE Trans. Aersp. Electron. Systems., vol. AES-39, July 2003, pp. 786 -798.

**Корисні посилання для здійснення транслітерації:**

<http://translit.kh.ua/?passport> – автоматична транслітерація з української мови

<http://translate.meta.ua/ua/translit/> – автоматична транслітерація з російської мови

**На окремому аркуші наводяться відомості про авторів.**

**Автор:** Прізвище, ім'я та по-батькові; посада; вчена ступінь та вчене звання; адреса електронної поштової

## Подання матеріалів

Обсяг рукопису – від 4 до 20 аркушів українською або англійською мовами.

Для публікації необхідно надіслати статтю у електронній формі **doc**.

Подані матеріали автору не повертаються.

Матеріали просимо подавати через сайт журналу ([sit.nuou.org.ua](http://sit.nuou.org.ua)) або на e-mail: [sitnuou@ukr.net](mailto:sitnuou@ukr.net).

скарипки; контактний телефон; ORCID ID в форматі:

<http://orcid.org/0000-0001-9037-787X>

З питань оплати звертатись до редакції ([sitnuou@ukr.net](mailto:sitnuou@ukr.net)).

Редколегія залишає за собою право відмови у публікації статей, що не відповідають проблематиці журналу, умовам оформлення матеріалів та за результатами незалежного рецензування.