

Національний університет  
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”

National University  
“Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

# СИСТЕМИ управління, навігації і зв'язку

# Control, navigation and communication systems

Випуск 3 (61)

Issue 3 (61)

## Щоквартальне видання

Засноване у 2007 році

У журналі відображені результати наукових досліджень з розробки та удосконалення систем управління, навігації та зв'язку у різних проблемних галузях.

### Засновник і видавець:

Національний університет  
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”

### Телефон:

+38 (050) 302-20-71

### E-mail редколегії:

kuchuk\_nina@ukr.net

### Інформаційний сайт:

<http://journals.nupp.edu.ua/sunz>

## Quarterly

Founded in 2007

Journal represent the research results on the development and improvement of control, navigation and communication systems in various areas

### Founder and publisher:

National University  
“Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

### Phone:

+38 (050) 302-20-71

### E-mail of the editorial board:

kuchuk\_nina @ukr.net

### Information site:

<http://journals.nupp.edu.ua/sunz>

*За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор*

*Журнал індексується міжнародними наукометричними базами: Index Copernicus (ICV = 81.37),  
General Impact Factor, Google Scholar, Academic Resource Index, Scientific Indexed Service*

*Затверджений до друку Вченою Радою Національного університету*

*“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка” (протокол від 11 вересня 2020 року № 1).*

*Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 24464-14404 від 27.03.2020 р.*

*Включений до “Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії” до категорії Б – наказом МОН України від 17.03.2020 № 409 (зі змінами від 24.09.2020)*

Полтава • 2020

## Редакційна колегія

### Головний редактор:

КОСЕНКО Віктор Васильович  
(*д-р техн. наук, проф., Полтава, Україна*).

### Заступники головного редактора:

НЕСТЕРЕНКО Катерина Сергіївна  
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*).  
ШЕФЕР Олександр Віталійович  
(*д-р техн. наук, доц., Полтава, Україна*).

### Члени редакційної колегії:

БЛАУНШТЕЙН Натан Олександрович  
(*д-р техн. наук, проф., Ізраїль*)  
БОГОМ'Я Володимир Іванович  
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*)  
ВАРБАНЕЦЬ Роман Анатолійович  
(*д-р техн. наук, проф., Одеса, Україна*)  
ВЕСОЛОВСЬКИЙ Кшиштоф  
(*д-р техн. наук, проф., Польща*)  
ГАВРИЛКО Євген Володимирович  
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*)  
ГАШИМОВ Ельшан Гіяс огли  
(*д-р наук, проф., Баку, Азербайджан*);  
ГЛИВА Валентин Анатолійович  
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*)  
ДАКІ Олена Анатоліївна  
(*д-р техн. наук, доц., Ізмаїл, Україна*)  
КАСАТКІНА Наталія Вікторівна  
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*)  
КОВАЛЕНКО Андрій Анатолійович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);  
КОРОБКО Богдан Олегович  
(*д-р техн. наук, доц., Полтава, Україна*)  
КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);  
КУЧУК Георгій Анатолійович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);  
ЛУНТОВСЬКИЙ Андрій Олегович  
(*д-р техн. наук, проф., Німеччина*)  
ЛУКОВА-ЧУЙКО Наталія Вікторівна  
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*)  
ПАВЛЕНКО Максим Анатолійович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*)  
ПИСАРЧУК Олексій Олександрович  
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*)  
ПОДКОПАЄВ Сергій Вікторович  
(*д-р техн. наук, проф., Покровськ, Україна*)  
СЕМЕНОВ Сергій Геннадійович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*).  
СТАНКУНАС Йонас  
(*д-р техн. наук, проф., Вільнюс, Литва*);  
ТИМОЧКО Олександр Іванович  
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*)  
ТИМОЦЬУК Олена Миколаївна  
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*)  
ТРИСТАН Андрій Вікторович  
(*д-р техн. наук, доц., Харків, Україна*)  
ФРОЛОВ Євгеній Андрійович  
(*д-р техн. наук, проф., Полтава, Україна*)  
ЧОРНИЙ Олексій Петрович  
(*д-р техн. наук, проф., Кременчук, Україна*)

### Відповідальний секретар:

КУЧУК Ніна Георгіївна  
(*канд. техн. наук, доц., Харків, Україна*).

### Технічний секретар:

ПЕТРОВСЬКА Інна Юріївна  
(*магістр комп. інж., Харків, Україна*).

## Editorial board

### Editor-in-Chief:

Viktor KOSENKO  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Poltava, Ukraine*).

### Associates editor:

Katerina NESTERENKO  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*).  
Oleksandr SHEFER  
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Poltava, Ukraine*).

### Editorial board members:

Nathan BLAUNSTEIN  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Israel*);  
Volodymyr BOHOMYA  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);  
Roman VARBANETS  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Odesa, Ukraine*);  
Krzysztof WESOŁOWSKI  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Poland*);  
Yevhen HAVRILKO  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);  
Elshan Giyas oglu HASHIMOV  
(*Dr. Sc., Prof., Baku, Azerbaijan*);  
Valentyn GLYVA  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);  
Olena Daki  
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Izmail, Ukraine*);  
Natalia KASATKINA  
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine*);  
Andrii KOVALENKO  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);  
Bohdan KOROBKO  
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Poltava, Ukraine*).  
Viktor KRASNOBAYEV  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);  
Heorhii KUCHUK  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);  
Andriy LUNTOVSKYY  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*);  
Natalia LUKOVA-CHUIKO  
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine*);  
Maksim PAVLENKO  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*).  
Oleksii Pysarchuk  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*);  
Serhii PODKOPAIEV  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Pokrovsk, Ukraine*).  
Serhii SEMENOV  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*).  
Jonas STONKUNAS  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Vilnius, Lithuania*);  
Oleksandr TYMOCHKO  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine*).  
Olena TYMOSHCHUK,  
(*Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine*).  
Andrii TRYSTAN  
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine*).  
Yevhen FROLOV  
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Poltava, Ukraine*).  
Oleksii CHORNYI  
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kremenchuk, Ukraine*).

### Responsible secretary:

Nina KUCHUK  
(*PhD (Ped.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine*).

### Technical secretary:

Inna PETROVSKA  
(*MSD of Comp. Eng., Kharkiv, Ukraine*).

# З М І С Т

## НАВІГАЦІЯ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

<i>Подлінаєв В. О.</i> Дослідження можливостей сучасного програмного забезпечення щодо створення геоінформаційних систем трансдисциплінарного використання слабо структурованих даних .....	4
---	---

## КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО ТА ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Колесник А. В., Павленко В. М., Затхей В. А.</i> Метод розробки моделей представлення знань про аварійні ситуації для СППР авіадиспетчера .....	13
<i>Кривоножко А. М., Петров О. В., Щербак Г. В., Сургай В. М.</i> Розробка методу визначення поля векторів руху зі зважуванням вимірів блоків зображення .....	21
<i>Падалка І. О., Дмитрів О. М., Пархоменко Д. О., Мелешко О. М.</i> Метод передбачення особливих випадків в польоті на основі завчасного виявлення аномальних послідовностей в діагностичних даних технологічного обладнання повітряного судна .....	28

## УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Кононов В. Б., Рафальський Ю. І., Дехніч О. О.</i> Дослідження методики визначення параметрів руху вільно падаючих тіл з використанням цифрових засобів вимірювання .....	32
<i>Леві Л. І.</i> Генетичні алгоритми оптимізації в задачах керування зрошувальними системами .....	36
<i>Мошаренков В. В.</i> Розробка методу оцінки методичних похибок калібрування електровимірвальних приладів змінного струму сигналами прямокутної форми типу «Меандр» .....	41
<i>Shefer O., Golovko G., Chaika Ye., Luchko M.</i> Development of a computer network of the regional office of water resources in Poltava region with an intelligent database management system .....	44

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

<i>Гаєвський С. В., Балакірева С. М., Кулаков І. П.</i> Математичні моделі для розрахунку показників залишкового ресурсу невідновлювальних комплектуючих виробів радіоелектронної системи літака .....	49
<i>Данілов Ю. О., Келлер І. К., Задкова О. В.</i> Методика визначення раціональних параметрів винищувача з урахуванням витрат на розробку, створення, експлуатацію .....	53
<i>Заповольський М. Й., Мезенцев М. В.</i> Синтез керувань дизель-поїзда з електроприводом змінного струму .....	57
<i>Ковтунов Ю. О., Макогон О. А., Ісаков О. В., Бабкін Ю. В., Калінін І. В., Лазута Р. Р.</i> Використання математичного апарату нечіткої логіки для фазифікації та алгоритмізації роботи системи інтерактивного моніторингу транспортних комунікацій .....	64

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Alyoshin S., Borodina E., Haitan O., Zyta O.</i> Neural network support for introscopy of internal structure and properties of the building constructions .....	69
<i>Гавриленко С. Ю., Швердін І. В.</i> Ідентифікація стану комп'ютерної системи на основі ансамблевого методу класифікації .....	75
<i>Гребенюк Д. С., Давидов В. В.</i> Метод первинного виділення хмарних обчислювальних ресурсів на основі аналізу ієрархій .....	80
<i>Гчанська Н. В., Сіровий С. С.</i> Застосування освітніх інтернет-ресурсів у навчальній роботі з іноземними студентами .....	86
<i>Одарущенко О. М.</i> Оцінювання та забезпечення функційної безпеки при розробленні та ліцензуванні модулів і платформ для програмно-технічних комплексів інформаційно-керуючих систем .....	90
<i>Olizarenko S., Argunov V.</i> On possibilities of multilingual Bert model for determining semantic similarities of the news content .....	94
<i>Чалій С. Ф., Лециньський В. О., Лециньська І. О.</i> Інформаційна технологія побудови пояснень з урахуванням темпоральних змін у вимогах користувачів рекомендаційної системи .....	99
<i>Shcherbinina Y., Martseniuk B., Filonenko A.</i> Database security and study of data encryption methods in cloud storage ..	104
<i>Yanko A., Fil I.</i> The task of choosing a reliable path for message transmission in a computer network .....	107

## ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

<i>Глива В. А., Ходаковський О. В., Левченко Л. О.</i> Засади проектування облицювальних матеріалів градієнтного типу для екранування електромагнітних полів .....	111
<i>Касаткіна Н. В., Тихенко О. М., Панова О. В., Бірук Я. І.</i> Підвищення ефективності композиційних електромагнітних екранів регулюванням морфології феромагнітного наповнювача .....	115
<i>Романюк В. П., Триснюк В. М., Куртсейтов Т. Л.</i> Постановка задачі ліквідації наслідків природних та техногенних катастроф на території України .....	119

## ЗВ'ЯЗОК, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

<i>Besova O., Karlov V., Lukashuk O., Petryshenko I.</i> Diagnostics of headlights from near area on place of basing .....	124
<i>Індик С. В., Лисечко В. П.</i> Метод перестановки інтервалів з врахуванням взаємкореляційних властивостей сегментів .....	128
<i>Ліциновська Н. О.</i> Можливість забезпечення завадостійкості обладнання системи EGNOS RIMS на основі резонаторів на нерегулярних лініях передачі .....	131
<i>Москаленко А. О., Сокол Г. В., Коротун Т. М., Угляниця А. Г., Шугайло А. О.</i> Характеристики сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць .....	135
<i>Трубчанінова К. А.</i> Модель антени для випромінювання надширококутних сигналів .....	138

<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	142
----------------------------------	-----

# Навігація та геоінформаційні системи

УДК 004.5:004.6:007.51:528.933:004.822:519.72

doi: 10.26906/SUNZ.2020.3.004

В. О. Подліпаєв

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ СУЧАСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЩОДО СТВОРЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТРАНСДИСЦИПЛІНАРНОГО ВИКОРИСТАННЯ СЛАБО СТРУКТУРОВАНИХ ДАНИХ

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є існуюче програмне забезпечення для ведення геопросторового аналізу та забезпечення геоінформаційної підтримки прийняття рішення. **Метою** є вивчення та аналіз програмного забезпечення для побудови спеціалізованих геоінформаційних систем трансдисциплінарного використання слабо структурованих даних. **Завдання:** вивчити та проаналізувати можливості окремих зразків програмного забезпечення для побудови спеціалізованих геоінформаційних систем їх особливості щодо реалізації алгоритмів збору, систематизації, накопичення та візуалізації даних та можливості щодо реалізації механізмів інформаційного забезпечення геопросторового аналізу, особливо з використанням слабо структурованих даних. Використовуваними **методами** є: методи статистичного аналізу, методи оптимізації, методи моделювання, методи побудови складних систем. Отримані такі **результати**. Встановлено, що актуальним питанням є – застосування геоінформаційних систем для роботи з геопросторовими даними та пов'язаної з ними інформацією, які зберігаються в різноманітних інформаційних ресурсах у слабо структурованому вигляді. В рамках даної статті надані результати вивчення та аналізу можливостей окремих зразків програмного забезпечення, які в подальшому можуть бути використані при створенні геоінформаційних систем для ведення геопросторового аналізу та забезпечення геоінформаційної підтримки прийняття рішення з використанням таких видів даних. **Висновки.** Сучасні системи ведення геопросторового аналізу неможливо уявити без всебічного та різноматематичного інформаційного забезпечення. Проведений аналіз підходів до побудови геоінформаційних систем показав, що існуючі рішення не дозволяють здійснювати пошук, збір та тематичну систематизацію потрібних, а особливо негеопросторових даних, які знаходяться у різноманітних інформаційних ресурсах та викладені у неструктурованому вигляді. Тому, розв'язання задачі забезпечення інформаційного забезпечення геопросторового аналізу полягає в інтеграції або поєднанні міждисциплінарного інформаційного середовища з геоінформаційною системою та в необхідності розробки засобів забезпечення загального трансдисциплінарного онтологічного представлення семантики, що забезпечить можливості зберігання, обробки та доступу до його різноманітних об'єктів та інформаційних одиниць.

**Ключові слова:** геопросторовий аналіз, геоінформаційна система, геоінформаційна підтримка, прийняття рішення, спеціалізоване програмне забезпечення, управління просторово-розподіленою інформацією.

### Вступ

У процесі вирішення певних класів складних прикладних задач виникає потреба у геоінформаційній підтримці. В основі цих процесів полягає геопросторова інформація, точніші використання її та результатів її обробки та аналізу. Такими класами задач є оперативне планування з прив'язкою до місцевості, управління територіальними об'єктами, аналіз геопросторової інформації тощо.

Сучасність висуває багато вимог до процесів управління, однією з яких є – швидке прийняття рішень. Забезпечення виконання цієї вимоги можливо за допомогою програмно-технічних засобів формування сценаріїв прийняття рішень. Причому в основі цих засобів реалізовані функції отримання та відображення просторово-розподіленої оперативної інформації.

За оцінкою світових експертів, понад 80 % інформації, яка використовується в органах державного управління, – це геопросторова інформація. Вона відображається переважно у цифровій формі з вико-

ристанням сучасних геоінформаційних технологій і становить основу широкого застосування у всіх сферах діяльності країни.

Аналіз досвіду використання геопросторової інформації в інтересах економічного розвитку та національної безпеки в державах Європейського Союзу та інших провідних країнах світу свідчать, що на її підґрунті планується та приймається більшість управлінських рішень.

Геопросторова інформація в сучасних умовах стала важливим стратегічним ресурсом державного управління та вагомим чинником сталого соціально-економічного розвитку країни.

Таким чином, потреба у геоінформаційних технологіях у багатьох сферах діяльності України, включаючи і сферу національної безпеки та оборони, говорить про їх актуальність.

Одним з основних та найбільш потужним аналітичним елементом геоінформаційної підтримки є геопросторовий аналіз.

Геопросторовий аналіз – це процес пошуку просторових закономірностей у розподілі географі-

чних даних і взаємозв'язків між об'єктами. [1]. Геопросторовий аналіз є свого роду унікальною лінзою, через яку вивчаються події, структури й процеси, які відбуваються на землі або поблизу поверхні нашої планети [2].

В результаті аналізу географічної інформації отримують якісно нову інформацію й виявляють досі невідомі закономірності.

Геопросторовий аналіз – це динамічний процес роботи зі значними обсягами даних. Причому, не зважаючи на те, що аналіз називається геопросторовий, в основному опрацьовуються не геопросторові дані, а інша інформація, яка безпосередньо пов'язана з ними або має контекстне відношення до них. Тобто областю геопросторового аналізу є певна територія (акваторія або простір) та об'єкти або події (явища), які знаходяться або відбуваються на ній.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** Визначальним фактором для складних прикладних задач, є використання даних з різних сфер знань для їх вирішення. Використання геопросторової інформації не є винятком. Безпосередньо сама геопросторова інформація не відноситься до окремої сфери знань, до якої можна віднести це поняття та методи роботи з нею. Але, будь яка сфера знань містить геопросторові дані, які їй притаманні або пов'язанні з інформацією цієї сфери.

Як правило, інформація накопичується та зберігається в інформаційних ресурсах, які в залежності від сфери знань мають власні особливості побудови, функціонування, умови і вимоги зберігання та надання даних. Звідси і виникає поняття різнірідні інформаційні ресурси.

Для початку геопросторового аналізу, аналітику необхідно підготувати певний обсяг інформації (статистичної, довідкової та іншої) та у ході його ведення виникає потреба у оперативній інформації та довідкових даних стосовно нових питань, які виникають у процесі аналізу. І чим ця інформація якісніша, повніша і оперативніша, тим краще і швидше результат.

Проблематикою цієї ситуації є те, що всі необхідні для геопросторового аналізу дані та пов'язану з ними інформацію, експерт не виробляє. Однак, всі ці дані йому потрібні постійно і як можна оперативніше. А вони виробляються та знаходяться на різноманітних інформаційних ресурсах, які відносяться до різних сфер знань.

Проблемними залишаються питання пошуку та збору необхідної геопросторових даних та пов'язаної з ними інформації з цих ресурсів та ведення на її основі геопросторового аналізу.

Основним фактором надійності роботи аналітика це – безперервне, або як найшвидше, забезпечення його необхідною інформацією.

Тому, враховуючи просторово-тематичну розподіленість потрібних для аналізу даних, вирішення цього питання можливо шляхом максимально можливої автоматизації процесів пошуку, збору та доведення потрібної інформації до експерта-аналітика з використанням трансдисциплінарного підходу [3-5].

Також, особливістю використання геопросторової інформації з різнірідних інформаційних ресурсів є те, що вона зберігається в неструктурованому або слабо структурованому вигляді. А той факт, що використання різнірідних інформаційних ресурсів при трансдисциплінарному підході виключає можливість та доцільність впливу на порядок зберігання та представлення в них даних, тому робота з даними, які представлені у такому вигляді, додає проблематики порушеного питання та підвищує актуальність його вирішення.

Беззаперечним рішенням щодо автоматизації зазначених процесів та побудови основи робочої платформи такого експерта-аналітика є – використання геоінформаційних систем [6, 7].

Виникає таке **актуальне наукове завдання** – визначення відповідної геоінформаційної системи, яка відповідає достатнім вимогам щодо пошуку, оброблення та використання геопросторових даних і пов'язаної з ними інформації з різнірідних інформаційних ресурсів, а також ведення трансдисциплінарного геопросторового аналізу, в процесі вирішення складних прикладних задач, які характеризуються високою міждисциплінарністю.

Фізично геоінформаційна система являє собою систему апаратно-програмних засобів і алгоритмічних процедур, яка створена для цифрової підтримки, поповнення, управління, маніпулювання, аналізу, математико-картографічного моделювання і образного відображення географічно координованих (визначених) даних [8, 9].

Ця інформаційна система даних, яка має засоби пошуку, збору, представлення, обробки, накопичення, збереження геопросторових даних та обміну ними між користувачами [10-13]. Спеціалізовані методи аналізу геопросторових даних у поєднанні із зазначеними даними складають основу технології таких систем.

ГІС на сьогодні є незамінним та найпотужнішим інструментом для підтримки управлінських рішень щодо просторових об'єктів.

Одним із основних результатів використання ГІС є створення спеціалізованих карт, які можна об'єднувати у різноманітні тематичні та територіальні збірники та набори.

Ця підтримка здійснюється шляхом забезпечення користувачів (органів управління, інформаційно-аналітичних та інших підрозділів тощо) необхідними геопросторовими даними, надання їм можливості обмінюватися цими даними та використовувати спеціалізовані геоінформаційні ресурси для збору та накопичення власної інформації, яку вони використовують при виконанні завдань за призначенням.

Сучасні ГІС мають різні рівні складності, від простих інформаційних систем до складних аналітичних з автоматизованими (автоматичними) алгоритмами підготовки (прийняття) рішень. Від рівня складності змінюється набір функцій, які може виконувати система, але, основне її призначення залишається незмінним – своєчасне надання потрібної інформації.

Саме ці два критерії – своєчасність надання інформації і її потрібність, є основними регуляторами створення архітектури ГІС, формування її інформаційного змісту, а також побудови алгоритмів збору та надання інформації споживачам.

До складу геоінформаційної системи повинні входити інструментарії роботи з базами даних для здійснення пошуку, вибору та зберігання даних [14]. Класифікована певним чином геопросторова інформація, структурується і зберігається в відповідних базах даних. ГІС постійно використовують власні бази даних.

Це пов'язано зі значними обсягами база даних навіть для невеликої території та певними відмінностями пошуку і вибірки інформації по атрибутах та місцю розташування. Крім дискретних даних геоінформаційна система обробляє й інформацію про безперервні події та явища, яка надається за допомогою растрів, матриць та різних моделей. Таким чином швидкість роботи і можливості системи залежать від підходів та способів зберігання різних типів даних.

Враховуючи це, використання власних форматів ГІС є нерідкою практикою щодо роботи з усіма типами інформації.

Набір алгоритмів і задач обробки геопросторових даних, який до складу програмного забезпечення входить, є аналітичним апаратом ГІС.

Призначення визначає склад аналітичного апарату.

Можливості ГІС та їх розширення забезпечує широкий набір розрахункових і аналітичних операцій. Однак, це у свою чергу призводить до ускладнення її інтерфейсу та впливає на складність роботи користувача, особливо новачка. Виходячи з цього, сучасні геоінформаційні системи, як правило, мають модульний склад.

Загальна (більш універсальна) частина операцій включається до базового складу системи, а інші (більш профільної спрямованості) додаються за потреби.

На сьогодні, значну частину всіх даних, з якими потрібно працювати організаціям і установам, становить інформація, що має певну ступень просторової прив'язки. Враховуючи це, набір функцій сучасних геоінформаційних систем значно розширився у порівнянні з звичайними системами, що обробляють власно геопросторові дані. дозволяють Окрім роботи з різними картами та атрибутами об'єктів на них, сучасні ГІС, можуть використовувати дані з різних типів документів (текстових, графічних, мультимедійних), які пов'язані з певними об'єктами, здійснювати складні запити до баз даних та перетворювати їх результати у карти, картограми чи діаграми, прив'язані до певних територій та багату інших операцій.

На сьогодні, у різних сферах діяльності, де використовується інформація, яку можна визначити у просторі або прив'язати до геопросторових даних, застосовуються ГІС.

Практично всі інструментальні ГІС мають функції від збору даних до її зберігання, оновлення і

представлення, тобто здійснювати комплексну обробку інформації.

Такі системи відносяться до класу повних та включають технології збору інформації, використовують максимальну кількість методів моделювання, автоматизованого проектування, а також вирішують ряд спеціальних, не типових, проектних задач.

Основною метою сучасних ГІС є отримання від геопросторових даних та їх взаємозв'язків значущих даних для розв'язання певних задач.

У світі це використовується як термін "Location Intelligence".

На сьогодні у світі є велика кількість програмних реалізацій ГІС [15-17]:

ГІС-платформи ArcGIS від компанії ESRI;

MapInfo від компанії MapInfo Corp;

лінійка програмних продуктів MGE, GeoMedia / GeoMedia Pro від компанії Integraph і AutoCAD Map, AutoCAD Civil, MapGuide від компанії Autodesk Inc;

CMaps Analytics від американської компанії Centigon Solutions;

пакет програмних продуктів MicroStation від компанії Bentley Systems;

Digital від української компанії GeoSystem.

Також можна виділити наступні менш популярні ГІС:

Smallworld GIS by Smallworld;

Maptitude by Caliper;

Map Business Online by MapBusinessOnline.com;

Rosmiman IWMS by Rosmiman Software Corporation.

AutoDesk CAD Overlay (компанія AutoDesk);

Geo (компанія Blue Marble Geographies);

ERDAS (компанія Leica GeoSystems);

ELT (компанія Paragon Imaging);

Geomatica (компанія PCI geomatics).

Лідерами [18] в цій сфері є комерційні компанії США:

Інститут досліджень систем навколишнього середовища (Environmental System Research Institute або ESRI Ltd.);

Integraph;

Autodesk Inc;

GE Network Solutions (підрозділ американської General Electric Company (власник відомої англійської ГІС-компанії Smallworld));

Mapping Information System Corporation.

**Метою дослідження** є вивчення та аналіз програмного забезпечення для побудови спеціалізованих геоінформаційних систем трансдисциплінарного використання слабо структурованих даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

вивчити та проаналізувати можливості окремих зразків програмного забезпечення для побудови спеціалізованих геоінформаційних систем;

визначити особливості розглянутих зразків програмного забезпечення щодо реалізації алгоритмів збору, систематизації, накопичення та візуалізації даних;

проаналізувати можливості сучасних геоінформаційних систем щодо реалізації механізмів інформаційного забезпечення геопросторового аналізу, особливо з використанням слабо структурованих даних.

## Матеріали дослідження

### 1. Дослідження сучасних геоінформаційних систем та проблематики їх використання.

*ГІС – на базі програмного забезпечення ArcGIS компанії ESRI [19].*

Це професійна ГІС, яка призначена для аналізу і обробки великих масивів даних може здійснювати контроль топологічних взаємозв'язків та має потужний аналітичний функціонал [20].

Платформа ArcGIS складається із програмних додатків, які ув'язані у єдиний комплекс. Така побудова забезпечує роботу з необробленими даним за допомогою розширеного аналізу та вузькоспеціалізованих додатків. Надає можливість інтегрувати всі типи даних про території та застосувати складні аналітичні методи.

Результати оброблення та аналізу даних надаються у вигляді карт, діаграм і графіків. Обробка геопросторових даних включає в себе значну кількість інструментів для розв'язання як простих просторових задач: побудова буферів, операції з полігонами, комплексний регресійний аналіз і класифікація зображень, тощо, так і більш складних: моделювання і аналіз комплексних просторових відносин для розрахунку оптимального маршруту через транспортну сітку, прогнозування розповсюдження природних пожеж, аналіз і пошук закономірностей і розташуванні місць скоєння злочинів, прогнозування повені в наслідок зливи, тощо.

При обробці геопросторових даних за основу взято загальні принципи перетворення даних. Інструментарій дозволяє обробляти наступні набори даних: вектор, растр, таблиця, в результаті чого створюються нові набори даних. Особливістю є наявність спеціалізованих методів для аналізу тематичних наборів даних.

Наявність шаблонів та доопрацьовані можливості дозволяють створювати додатки без програмування.

Використання картографічних представлень забезпечує відобразити об'єкти незалежно від формату даних. В ArcGIS можливо зберігання координат з більш високою точністю.

У системі реалізовано значний обсяг функцій для візуалізації та аналізу даних, а також інших застосувань.

Однак арсенал інструментарію для роботи з растровим зображенням досить невеликий і представлений модулем Spatial Analyst, в основному операції з двома растрами. На сьогодні, ArcGIS забезпечує хмарне сховище та додатки для ПК, мобільних пристроїв та веб клієнт.

ArcGIS це ціла платформа для збору, візуалізації, аналізу і зручного зберігання та розповсюдження даних. У той же час, величезний обсяг різних можливостей та використання великої кількості до-

даткових модулів перетворює цю платформу на достатньо складне програмне забезпечення.

Платформа ArcGIS є оптимальним рішенням для побудови корпоративної ГІС, фундаменту інформаційної системи ефективного управління крупними державними і комерційними організаціями.

Підтримку загальноприйнятих стандартів, гнучкість запропонованих рішень, широкі можливості взаємодії забезпечує побудова ArcGIS, яка реалізована на основі стандартів комп'ютерної галузі. Фундаментальна архітектура ArcGIS забезпечує її використання у багатьох прикладних сферах і на різних рівнях організації роботи: на персональних комп'ютерах, на серверах, через Web, або у «польових» умовах [21].

Є можливості завантаження файлів, зв'язок із базами даних, стилізація і попередній перегляд карт, а також готувати карти і просторові дані до публікації та швидко їх публікувати. [22].

ГІС-проекти дозволяють поєднувати карти, фотозйомки, дані краудсорсингу, соціальні медіа ресурси та багато іншого [23].

*ГІС – на базі програмного забезпечення MapInfo Professional. MapInfo Professional – географічна інформаційна система цифрового картографування, що надає користувачам широкі функціональні можливості з візуалізації і аналізу просторових даних. MapInfo забезпечує збір і зберігання картографічних даних в БД з урахуванням просторових властивостей і відносин об'єктів, а також їх редагування і обробка [21].*

Сфери ГІС MapInfo має застосування у різних сферах діяльності.

Система MapInfo є затребуваною геоінформаційною системою, яку відрізняють багатофункціональність, простота освоєння і невисока вартість [24].

Система MapInfo дозволяє відображати різні дані, що мають просторову прив'язку. Вона відноситься до класу Desktop GIS.

Відмітна особливість MapInfo - універсальність. Система дає можливість створювати інтегровані геоінформаційні технології Intergraph і MapInfo різних операційних систем, геоінформаційні системи, цифрові картографічні системи, програмні і технічні засоби формування і аналізу геоінформаційних баз даних [25].

У систему закладені такі можливості: методи аналізу даних в реляційній базі даних; пошук географічних об'єктів; методи тематичного зафарбовування карт; методи створення і редагування легенд; підтримка широкого набору форматів даних; доступ до віддалених БД і розподілена обробка даних.

MapInfo дозволяє одержувати інформацію про місцеположення за адресою або ім'ям, знаходити перетини вулиць, меж, проводити автоматичне і інтерактивне геокодування, проставляти на карту об'єкти із бази даних.

Інформація може представлятися у вигляді таблиць, карт, діаграм, текстових довідок. Система дає можливість проводити спеціальний географічний аналіз і графічне редагування. Модулі системи

включають обробку даних геодезичних вимірювань, векторизацію і архівацію карт, схем, креслень, перетворення картографічних проекцій, поєднання просторових даних.

Крім того, ГІС MapInfo Professional дозволяє збирати, зберігати, відображати, редагувати і обробляти картографічні дані, що зберігаються в базі даних, з урахуванням просторових відносин об'єктів.

В MapInfo можна відображати дані, одержані за допомогою GPS і інших електронних геодезичних приладів.

ГІС MapInfo має сумісність з форматами Oracle і DB2, Excel, Access, xBASE, Lotus і текстові, в яких окрім атрибутивної інформації можуть зберігатися координати точкових об'єктів;

При роботі програмного забезпечення можливо одночасно використання дані різних форматів. Вибірki з урахуванням просторових відносин об'єктів, здійснюються за допомогою вмонтованої мови запитів SQL з географічним розширенням. Причому сформовані запити можна зберігати у вигляді шаблонів для подальшого використання.

Пошук і нанесення об'єктів на карту MapInfo дозволяє за їх координатами, адресами або системами індексів.

Програмне забезпечення використовує сучасні методи взаємодії між Windows-додатками, що надає можливість інтегрування вікна карти в інші програми, які написані на різних мовах програмування.

ГІС – на базі програмного забезпечення *AutoCAD*. AutoCAD – провідна ГІС-платформа для створення картографічних даних і управління ними [26].

Об'єднуючи в собі риси САПР і ГІС, AutoCAD дозволяє працювати з основними форматами проектних і ГІС-даних, надає можливість обробляти великі набори картографічних даних засобами AutoCAD, а також працювати з інструментами проектування і функціонування ГІС в єдиному середовищі, що підвищує ефективність робочого процесу [21].

Високоточне програмне забезпечення для створення цифрових карт і здійснення геоінформаційного аналізу.

Містить всі необхідні засоби і ефективні функції для виготовлення картографічної основи і обробки географічної інформації.

Підтримує будь-які графічні формати, здійснює експорт даних у всі популярні програми обробки географічної інформації. Забезпечує миттєве отримання додаткових даних для геоінформаційного проекту через мережу.

AutoCAD включає могутні засоби для формування запитів, зміни властивостей, просторового аналізу і відмінне управління друком документів.

ГІС – на базі програмного забезпечення компанії *Intergraph*. Програмний пакет MGE (Modular GIS Environment) є багатогалузевим модульним середовищем ГІС [27], що надає засоби створення і супроводу ГІС-проектів, аналізу геопросторової інформації, виведення і відображення електронного картографічного матеріалу. На основі модулів MGE розробляються прикладні ГІС будь-якого ступеню склад-

ності, розраховані на одне чи декілька взаємозалежних робочих місць.

Серед усієї сукупності компонентів MGE три модулі є базовими, оскільки містять основні функції створення і супроводу ГІС-проекту. Це такі:

MGE Basic Nucleus (програмне ядро системи),

MGE Basic Administrator (базовий адміністратор);

MGE Base Mapper (базовий картограф).

Для вирішення більшості завдань необхідні практично всі зазначені модулі. Залучення додаткових модулів залежить від більш вузької специфіки конкретного завдання.

Взаємодія системи з базою даних забезпечує модуль RIS – Relational Interface System, що входить у стандартне постачання базових продуктів MGE. MGE може працювати з такими відомими промисловими СУБД, як SYBASE, ORACLE, INFORMIX, INGRES, MS SQL, DB2 і т.п.

Основним модулем системи MGE є - MGE Basic Nucleus (MGNUC), що забезпечує взаємодію модулів між собою і з базою даних. Він виконує роль адміністратора проекту, відповідає за його створення та зв'язок з базою даних. Організує взаємодію з іншими необхідними додатками. Контролює роботу функцій та створення архівних копій проекту. А також цей створює єдину систему координат для карт проекту.

MGNUC забезпечує інші програмні модулі широким набором функцій, а саме: формування запитів до бази даних, виведення результатів запитів, редагування атрибутики, перегляду і відображення семантичних і графічних даних. Функція формування запитів дозволяє здійснювати пошук записів бази даних за значенням одного або декількох атрибутів об'єкта, а також безпосередньо вказівкою графічного зображення об'єкта на карті. При формуванні запитів можуть використовуватися створені раніше SQL-запити, виділені області і групи об'єктів, а також просторові критерії запитів.

Як базовий графічний пакет у системі MGE використовується графічний редактор корпорації Bentley Systems – MicroStation різних версій. Усі графічні додатки MGE є програмними надбудовами над MicroStation, що являє собою могутній графічний редактор і має розвинуті засоби створення власних програмних додатків. Організаційною одиницею збереження даних є проект.

Основним форматом даних є векторні графічні файли формату DGN. До складу графічних об'єктів входять точкові, лінійні і полігональні об'єкти, а також їх різні комбінації. Використовуються різні графічні блоки, мультилінії, сплайнові лінії і поверхні.

ГІС – на базі програмного забезпечення компанії *GeoMedia*. Сімейство продуктів GeoMedia забезпечує високу технологічність усього циклу створення засобів, дозволяє в короткий термін створити систему кінцевого користувача і забезпечити її швидке впровадження. Однією із принципових властивостей продуктів сімейства GeoMedia є можливість використовуватися як універсальний ГІС-клієнт.

GeoMedia розрахована на ГІС-аналітиків і ГІС-глядачів, які синтезують нові дані, знання і рішення



на основі вже наявних даних. Ці дані зможуть бути використані для комплексного географічного аналізу і прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Використовуючи сервери даних, GeoMedia дозволяє підключатися до джерел, розташованих у різних географічних точках, і одночасно аналізувати дані різних типів і форматів.

Окрім ГІС-продуктів створених на іншому програмному забезпеченні працює з Oracle SDO, Microsoft, Access і деяких інших.

Продукт має різні функціональні можливості і дозволяє: перевіряти коректність введення даних, здійснювати запити до баз даних; проводити геопросторовий аналіз; створювати тематичні карти; створювати і компонувати легенди.

Аналітичний інструментарій в GeoMedia дозволяє перетворювати геометричні об'єкти у тематичні та здійснювати різні вибірки останніх. Також, завдяки можливостям визначення класів і об'єктів, здійснювати поповнення та розвиток даних та підтримання їх актуальності.

*ГІС – на базі програмного забезпечення CMaps Analytics.* CMaps Analytics (від американської компанії Centigon Solutions) [28] – система, що позиціонує себе, як зручний засіб візуалізації, на основі популярних та доступних електронних мап Google Maps. Основною метою продукту є створення доступного і простого Location Intelligence. Тобто використання багатопланових візуалізацій, на основі хронологічних, або різного типу даних для кращого сприйняття і подальшого аналізу. Система являє собою веб сервіс, з можливістю працювати з побудованими картами в інших системах, наприклад ArcGIS. Основної характеристикою програмного комплексу є велика кількість додатків та розширень для різних продуктів, залежно від потреб та зручний доступ через інтерфейс браузеру будь де, де є інтернет з будь якого пристрою.

*ГІС – на базі програмного забезпечення компанії Bentley Systems – MicroStation* [29] – модульна система, яка складається з програмних продуктів, об'єднаних єдиним концептуальним підходом і інтегрованих з базовим програмним продуктом – MicroStation. MicroStation є багатифункціональним, високопродуктивним пакетом автоматизованого проектування (CAD, CAIP), який забезпечує функції креслення, візуалізації, аналізу, моделювання і керування базами даних. Пакет особливо корисний для груп розробників і користувачів, що працюють у мережному режимі.

MicroStation може забезпечити багато-користувальницький режим, незалежно від типів комп'ютерних платформ, на яких спільно працюють користувачі.

MicroStation – це комплексна система автоматизованого проектування на базі тривимірної графічної системи, архітектура якої дозволяє використовувати макроси і створювати нові додатки.

Графічними об'єктами, з якими працює програмне забезпечення, є точки, лінії і полігони, а також їх різні комбінації, а також використовуються різні графічні блоки, мультілінії, сплайнові лінії і поверхні.

На достатньо потужному функціональному рівні знаходяться геоінформаційні системи, які побудовані на відкритому програмному забезпеченні.

Відкрите програмне забезпечення (англ. open-source software) – програмне забезпечення з відкритим програмним кодом, тобто цей код може бути прочитаним або зміненим користувачем [30].

Особливостями відкритого програмного забезпечення є [31]:

- вільне розповсюдження,
- доступний вихідний код,
- дозвіл на модифікацію або зміну вихідного коду.

Умовно всі відкриті ГІС також можна розділити на три основні класи: настільні (інсталиються на комп'ютер), веб (працюють через web-браузер), просторові бази даних (у них містяться геопросторові дані).

Зосередимо увагу на настільних відкритих ГІС. Перелік доступних для використання у світі відкритих настільних ГІС переважає 350 рішень, а до найбільш поширених у світі можна віднести: QGIS, GRASS GIS, Whitebox geospatial analysis tools (Whitebox GAT), Saga GIS, gvSiG, ILWIS, uDIG, MapWindow GIS (за версією Monde Geospatial, [32]).

*Quantum GIS.* Для більш типових задач ГІС достатньо використовувати Quantum GIS – в систему з відкритим вихідним кодом, для якого компанією розроблено спеціальний плагін (розширення). Quantum GIS [33] – графічна інформаційна система з відкритим кодом, що розповсюджується під GNU General Public License.

Це проєкт Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) який працює на Linux, Unix, Mac OS X, Windows, Android, підтримує велику кількість векторних та растрових форматів, баз даних, та має широкі можливості аналізу та представлення геопросторових даних.

Велика кількість інструментів і налаштувань робить QGIS багатифункціональним рішенням для розв'язання широкого спектру задач. Основне призначення - робота з растровими та векторними шарами, базами даних, та різними типами даних, однак є і певний інструментарій для аналізу растрового зображення.

Система підтримує можливість додавання модулів (плагінів) для розширення функціональності, таким чином можна використовувати програму як графічну оболонку з широкими можливостями інтеграції для реалізації необхідних перетворень. Основні можливості: перегляд даних, накладання один на одного векторних і растрових даних в різних форматах і проєкціях без перетворення у внутрішній, або загальний формат; дослідження даних і створення мап; керування даними: створення, редагування і експорт; аналіз просторових даних на просторових базах даних та інших форматах, що підтримуються системою. Це включає в себе: векторний аналіз, відбір, геообробка, геометрія і управління базами даних і не тільки

*GRASS GIS (Geographic Resources Analysis Support System)* – універсальна, багатифункціональ-

ною геоінформаційна система, яка має функції управління просторово-координованими даними та побудова за модульним принципом.

Для управління графічною векторною інформацією з функціями мережевого топологічного аналізу даних в GRASS реалізовано 2D/3D топологічне ядро. Система управління базами даних здійснює управління атрибутивними даними.

Модульна архітектура дозволяє написання власних модулів для вирішення прикладних завдань і включення їх в систему.

Модуль операції над растровими даними, а також модулі просторового моделювання і 3D візуалізації, дозволяють вирішувати достатньо широкий круг завдань.

Крім, того додатки і інструменти дозволяють: відображати карти і різні зображення на моніторі та папері;

маніпулювати растром, вектором, і даними сайтів;

обробляти мультиспектральні дані зображення; створювати, управляти, і запам'ятовувати просторові дані;

просторовий аналіз;

візуалізацію даних;

створення імітаційних моделей.

*DIVA-GIS* – ще одна система з відкритим кодом [34]. Основною ціллю розробки є створення вільно розповсюдженної системи для вивчення розподілу біорізноманіття. Програма зосереджена на роботі з зібраними даними, проте методи обробки зображення відсутні.

Присутні можливості роботи з шарами, популярними форматами геоданих, побудови гістограми, регресії, моделювання та інше [35].

*Leaflet* – не являється ГІС в повній мірі і представляє собою бібліотеку з відкритим вихідним кодом, призначену для відображення карт на веб-сайтах [36]. Бібліотека підтримує більшість мобільних і стаціонарних платформ.

Leaflet є одною з найбільш популярних відкритих бібліотек, підтримує Web Map Service (WMS), GeoJSON, векторні і растрові шари і може, зокрема, працювати серверними програмним забезпеченням ArcGIS.

Відкрите програмне забезпечення має можливість створити ГІС з функціоналом, якій не буде поступатися тому, що створений комерційним. Наявність у вільному доступі нових версій відкритих ГІС-програм свідчить про те що вони постійно оновлюються та розвиваються.

Відкритим ГІС також характерна багаторівнева модульна структура.

Крім невисоких вимог до апаратного технічного забезпечення більшість відкритих ГІС мають можливість роботи під різними операційними системами. За необхідністю автоматизації певних процесів роботи з геопросторовими даними та створення нових функціональних інструментів, розглянуті відкриті ГІС дозволяють написання додаткових програмних модулів, на більшості доступних мовах програмування.

Робота із геопросторовими базами даних забезпечує функції читання та запису (редагування) географічних та просторових даних, а також часових характеристик і атрибутів.

Типовими недоліками відкритих ГІС є:

складність опрацювання надвеликих масивів даних,

необхідність введення атрибутивних даних латиницею (через відсутність розпізнавання кирилических символів у системах),

умовно-обмежена функціональність,

однак вони істотно не впливають на результативність використання цих програм в аналітичному процесі.

Неможливо залишити поза увагою наявність достатнього розмаїття онлайн-сервісів потужних Web-картографічних або ГІС-порталів (ArcGIS Online, Google Earth, Google Maps, Wikimapia, Bing Maps, MapQuest, Yahoo! Maps, MultiMap.com тощо) [37-40].

Подібні Web-сервіси, окрім базових функцій ГІС містять різноманітні геопросторові дані по певним територіям.

За допомогою цих сервісів можливий пошук різноманітних об'єктів: населені пункти (за назвою), адреси (за найменуванням вулиці і номером будинку), фірми (за назвою, виду діяльності, телефоном) і ін. [41]. В деяких сервісах реалізовано функції підбору маршруту.

Однак на багатьох сервісах зазвичай є певні обмеження, які обумовлюються межами конкретних країн, набор наявних даних їх деталізацією та доступністю тощо.

На сьогодні, всі розробки програмного забезпечення з реалізації ГІС-технологій спрямовані на підвищення ефективності вирішення різноманітних завдань з використанням геопросторових даних.

**2. Аналіз сучасних геоінформаційних систем щодо реалізації механізмів інформаційного забезпечення геопросторового аналізу.** Сучасні геоінформаційні системи тісно пов'язані з іншими інформаційними системами та успішно використовують їхні інформаційні ресурси для ведення аналізу.

Сьогодні ГІС-технології є потужним інструментом роботи з інформацією.

Їх використання дозволяє вирішувати завдання різної складності від простих операцій накопичення та зберігання даних до прикладних аналітичних розрахунків.

Практичні реалізації цих технологій розробляються у сучасних загальноприйнятих стандартах, тому їх використання можливо у всіх сферах діяльності.

Сумісність ГІС з великою кількістю програмного забезпечення, забезпечує їх популярність їх використання та інтеграції у різноманітні інформаційні системи.

Відмінними особливостями геоінформаційних систем є чітка прив'язка інформації та її просторове представлення.

Порівняння ГІС було здійснено за такими основними критеріями:

робота з неструктурованими або слабоструктурованими даними, які знаходяться в різноманітних інформаційних ресурсах, без переміщення змісту цих ресурсів до баз даних самої ГІС;

тематична (критеріальна систематизація) знайденої інформації;

наявність веб-орієнтованих засобів її представлення.

Важливим критерієм є можливість роботи з різними форматами геопросторових даних та пов'язаної з ними інформації.

Всі інші критерії є другорядними.

### Висновки

Дослідження проблем, пов'язаних з організацією ефективного інформаційного забезпечення геопросторового аналізу міждисциплінарних інформаційних ресурсів показує, що існує необхідність розробки нових методів та засобів управління інформацією для забезпечення доступу до знань, їх об'єднання та формування нових знань. Це питання набуває найбільшої актуальності коли необхідно знайти негеопросторові дані, а саме пов'язану з ними інформацію, які знаходяться в різних інформаційних ресурсах. А якщо інформація в цих ресурсах викладена та зберігається у неструктурованому або слабо структурованому вигляді, то проблематика значно загострюється.

Сучасні, системи ведення геопросторового аналізу так, як і системи прийняття рішення у цілому, неможливо уявити без всебічного та різноматематичного інформаційного забезпечення. Крім того, тенденції щодо інформаційної комунікабельності інформаційно-аналітичних систем та відкритості архітектури вже підтвердили свою необхідність та ефективність. Таким чином, реалізація можливості ведення трансдисциплінарного геопросторового аналізу у системах прийняття рішення, є одним з найважливіших завдань для розробників таких систем.

Проведений аналіз підходів до побудови геоінформаційних систем показав, що існуючі рішення не дозволяють здійснювати пошук, збір та тематичну систематизацію потрібних, а особливо негеопросторових даних, які знаходяться у різноманітних інформаційних ресурсах та викладені у неструктурованому вигляді.

Тому розв'язання задачі забезпечення інформаційного забезпечення геопросторового аналізу полягає в інтеграції або поєднанні міждисциплінарного інформаційного середовища з геоінформаційною системою та в необхідності розробки засобів забезпечення загального трансдисциплінарного онтологічного представлення семантики [42], що забезпечить можливості зберігання, обробки та доступу до його різноманітних об'єктів та інформаційних одиниць.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Митчелл Енди. Руководство по ГИС Аналізу. Часть 1 : Пространственные модели и взаимосвязи / Энди Митчелл ; пер. с англ. – К., ЗАО ЕСОММ Со ; Стило, 2000. – 198 с.
2. Ішук О. О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС : Навч. посібник / О. О. Ішук, М. М. Коржнев, О. Е. Кошляков; за ред. акад. Д. М. Гродзинського. – К. : Вид.-поліграфічний центр "Київський університет", 2003. – 200 с.
3. Stryzhak O., Prychodniuk V., Podlipaiev V. (2019) Model of Transdisciplinary Representation of GEOspatial Information. In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) Advances in Information and Communication Technologies. UKRMICO 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 560. Springer, Cham - p.34-72.
4. Стрижак О. Є. Трансдисциплінарна інтеграція інформаційних ресурсів : автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.13.06 / Стрижак Олександр Євгенійович ; Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – Київ, 2014. – 47 с.
5. Приходнюк В. В., Технологічні засоби трансдисциплінарного представлення геопросторової інформації [Текст]: автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.13.06 / Приходнюк В. В. ; Нац. акад. наук України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. Київ, 2017. - 20 с.
6. Подліпаєв В.О. Базовий набір типових геоінформаційних ресурсів для здійснення геоінформаційної підтримки та ведення геопросторового аналізу / В.О. Подліпаєв // "Системи управління, навігації та зв'язку" – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2019. – Вип. 2 (54). с. 12-37.
7. Подліпаєв В.О. Концепція побудови системи трансдисциплінарного інформаційного забезпечення геопросторового аналізу з компонентною архітектурою / В.О. Подліпаєв // "Системи управління, навігації та зв'язку" – Полтава.: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2019. – Вип. 3(55) С. 135-142.
8. Проект закону України "Про національну інфраструктуру геопросторових даних".
9. "Воєнна розвідка. Геопросторова розвідка. Терміни та визначення", Військовий стандарт 01.101.007 Видання 1, ВСТ 01.101.007-2017(01).
10. Варламов А. А., Гальченко С. А. Земельный кадастр. Т6. Географические и земельные информационные системы. М. : Колос, 2006. 400 с.
11. Світличний О. О., Злотницький С. В. Основи геоінформатики: Навч. пос. Суми: Університетська книга, 2006. 295 с.
12. Стрижак О. Є., Горбуров В. В., Франчук О. В., Попова М. А. Онтологія задачі вибору та її застосування при аналізі лімнологічних систем. Екологічна безпека та природокористування : Збірник наукових праць / редкол. : О. С. Волошкіна, О. М. Трофимчук (голов. ред.) [та ін.]. Київ : Міністерство освіти і науки України, Київський національний університет будівництва і архітектури, НАН України Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору., 2014. С. 172–183.
13. Тикунов В. И. Геоинформатика. Академический учебник. М. : Академия, 2006. 540 с.
14. Геоінформаційні системи, <http://www.geoguide.com.ua/survey/survey.php?part=gis>
15. Курочкін В. М. Аналіз та перспективи розвитку сучасних геоінформаційних рішень для оптимізації ведення сільськогосподарства Проблеми інформатизації та управління, 4(52) 2015 75
16. Методи та моделі розроблення комп'ютерних систем і мереж. Монографія / [В.С. Пономаренко, С.В. Мінухін, С. В. Кавун, та ін. ]; Заг. редакція докт. екон. наук, професора Пономаренко В.С. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2008. – 316 с.

17. Каталог програмного забезпечення <http://www.geoguide.com.ua/software/software.php>
18. Top GIS Software Products: <http://www.capterra.com/gis-software/>
19. Esri: GIS Mapping Software, Spatial Data Analytics & Location Platform. URL: <https://www.esri.com/en-us/home>.
20. Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии. М. : Финансы и статистика, 1998. 286 с.
21. Обзор программных продуктов ГИС <http://alkalinina.wordpress.com/2011/01/14/обзор-программных-продуктов-гис/>
22. Что такое ГИС-технологии <http://www.ssa.ru/articles/entry/4397BC65D>.
23. Esri Trend Analysis: 2009/2014 [PDF] <http://www.esri.com/library/index.html>.
24. Сферы применения ГИС MapInfo <http://goods.marketgid.com/goods/249/1900528/>
25. Web-сайт корпорации MapInfo. <http://www.mapinfo.com/>.
26. Руководство по Autodesk Civil 2008 Web-сайт Autodesk, [www.autodesk.com](http://www.autodesk.com).
27. Intergraph Corporation | Process, Power and Marine | Hexagon Safety & Infrastructure. URL: <http://www.intergraph.com>.
28. Centigon Solutions CMaps Analytics, <http://cmapsanalytics.com/>
29. MicroStation - ПО САПР для разработки в 3D архитектурных и инженерных проектов. URL: <https://www.bentley.com/ru/products/brands/microstation>.
30. Open-Source Software (OSS), 2018. <https://www.techopedia.com/definition/5602/open-source-software-oss>. Accessed on: August 03, 2018 (in English).
31. Зінов'єва Ірина Сергіївна, Використання відкритих геоінформаційних систем у підготовці фахівців з комп'ютерних наук ISSN: 2076-8184. Інформаційні технології і засоби навчання, 2018, Том 68, №6
32. V.P. Mateichyk, H.O. Vaihanh, та K.V. Rymaruk. «Prior to the selection of GIS programs for visualizing the level of pollution of highways», *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu*, № 27, s. 125-130, 2013 (in Ukrainian).
33. QGIS The Leading Open Source Desktop GIS <http://www.qgis.org/>
34. Hijmans R. DIVA-GIS, <http://www.diva-gis.org/about>
35. Hijmans R. Computer tools for spatial analysis of plant genetic resources data: 1. DIVA-GIS // R.J. Hijmans, L. Guarino, M. Cruz, E. Rojas [Електронний ресурс] - International Potato Center, Lima, Peru - 2001, [http://www.divagis.org/docs/pgr127\\_15-19.pdf](http://www.divagis.org/docs/pgr127_15-19.pdf)
36. Leaflet – an open-source JavaScript library for interactive maps. URL: <http://leafletjs.com>.
37. Павленко Л. А. Геоінформаційні системи : навчальний посібник / Л. А. Павленко. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2013. – 260 с.
38. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускну здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
39. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
40. Кучук, Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал*. – Х.: ХУ ПС, 2013. – № 3(12). – С. 154-158.
41. Обзор онлайн-картографических сервисов, [http://www.3dnews.ru/software/online\\_maps\\_review\\_6](http://www.3dnews.ru/software/online_maps_review_6).
42. Стрижак А. Е. Онтологические аспекты трансдисциплинарной интеграции информационных ресурсов / А. Е. Стрижак // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. – 2014. – № 65. – С. 211-223.

Received (Надійшла) 21.05.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.08.2020

### Research on the possibilities of modern software about creation of geoinformation systems of transdisciplinary use of poorly structured data

V. Podlipaiev

**Abstract.** The **subject matter** of the article is existing software for conducting geospatial analysis and providing geoinformation support for decision making. The **goal** is to study and analyze software for the construction of specialized geoinformation systems for the transdisciplinary use of poorly structured data. Objective: To study and analyze the capabilities of individual software samples for the construction of specialized geoinformation systems, their peculiarities for the implementation of algorithms for data collection, systematization, accumulation and visualization, and the feasibility of implementing mechanisms of geospatial analysis information support, especially using poorly structured data. The **methods** used are: statistical analysis methods, optimization methods, modeling methods, methods for constructing complex systems. The following **results** were obtained. The pressing issue is the use of geoinformation systems to work with geospatial data and related information stored in various information resources in poorly structured form. This article presents the results of studying and analyzing the capabilities of individual software samples that can be further used in the creation of geoinformation systems for geospatial analysis and providing geoinformation support for decision making using such types of data. **Conclusions.** Modern systems of geospatial analysis cannot be imagined without comprehensive and differently thematic information support. The analysis of approaches to the construction of geoinformation systems has shown that the existing solutions do not allow searching, collecting and thematic systematization of the necessary, especially non-spatial data, which are in heterogeneous information resources and presented in an unstructured form. Therefore, the solution to the problem of providing information support for geospatial analysis is to integrate or combine an interdisciplinary information environment with a geoinformation system and the need to develop a means of providing a general transdisciplinary ontological representation of semantics that will provide opportunities for storage, processing and access to its heterogeneous objects. units.

**Keywords:** geospatial analysis, geoinformation system, geoinformation support, decision making, specialized software, management of spatial and distributed information.

# Контроль космічного та повітряного простору

УДК 004.8:621.3

doi: 10.26906/SUNZ.2020.3.013

А. В. Колесник<sup>1</sup>, В. М. Павленко<sup>2</sup>, В. А. Затхей<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Льотна академія НАУ, Кропивницький, Україна

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

<sup>3</sup> Харківський національний економічний університет імені Саймона Кузнеця, Харків, Україна

## МЕТОД РОЗРОБКИ МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗНАТЬ ПРО АВАРІЙНІ СИТУАЦІЇ ДЛЯ СППР АВІАДИСПЕТЧЕРА

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є дослідження можливості застосування апарату байєсівських мереж для побудови моделей розвитку аварійних ситуацій на повітряному судні. **Метою** є розробка моделей представлення знань про аварійні ситуації в польоті для її подальшого застосування при розробці СППР авіадиспетчера. **Завдання:** визначення і аналіз чинників, що впливають на процес прийняття рішення щодо можливості продовження польоту у випадку виникнення особливого випадку в польоті на прикладі відмови двигуна; аналіз чинників, що впливають на визначення рівня ризику (потенційного збитку) при виконанні вимушеної посадки; побудова ймовірнісних моделей визначення можливості продовження польоту та визначення потенційного збитку альтернатив завершення польоту на основі мережі Байєса. Використовуваними **методами** є: методи аналізу і синтезу складних інформаційних систем, методи імітаційно-статистичного моделювання. Отримані такі **результати**. Визначено множини факторів, що впливають на процес прийняття рішення у випадку виникнення такого особливого випадку як відмова двигуна на повітряному судні. Побудовано ймовірнісну модель, що відображає процес прийняття рішення щодо визначення можливості продовження польоту при відмові двигуна на повітряному судні в польоті. Побудовано ймовірнісні моделі визначення потенційного збитку для випадку виконання вимушеної посадки на аеродромі та майданчику. Обґрунтовано вибір програмного засобу, а саме системи ймовірнісного програмування Figafo, для реалізації розроблених байєсівських моделей. **Висновки.** Напрямок подальших досліджень є розробка методу автоматизованого вироблення рішень при виникненні особливих випадків в польоті з використанням побудованих ймовірнісних моделей для його використання при побудові СППР авіадиспетчера

**Ключові слова:** відмова двигуна, особливий випадок в польоті, потенційний збиток, вимушена посадка, авіадиспетчер.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

Значну роль в забезпеченні безпеки авіаційних перевезень займає диспетчер управління повітряним рухом, від професіоналізму якого залежить життя багатьох сотень людей. В зв'язку з тим, що авіаперевезення вважаються найбільш безпечним, швидким та комфортним видом перевезень, це призводить до постійного збільшення кількості пасажирів і, відповідно, підвищення кількості повітряних суден у повітряному просторі. Диспетчеру доводиться працювати в умовах невеликих інтервалів між літаками, їх високих швидкостях та висотах, високої щільності руху, різноманітності повітряних суден та різних метеоумов. При цьому навантаження на кожного з авіадиспетчерів значно збільшується. Це обумовлено роботою в умовах великого інформаційного навантаження, постійно змінюваної повітряної обстановки, відповідальністю за життя багатьох людей, необхідністю вирішувати нестандартні задачі і, головне, дефіцитом часу на прийняття рішення.

Одним з важливих факторів, що впливає на ступінь навантаженості авіадиспетчерів є рівень автоматизації процесу управління повітряним рухом. Для забезпечення підтримки операторської діяльно-

сті, якісного прогнозування та своєчасної видачі правильних рекомендацій застосовують системи підтримки прийняття рішень (СППР), що являють собою інтерактивні системи, які використовують обладнання, програмне забезпечення, дані, базу моделей і роботу оператора з метою підтримки всіх стадій прийняття рішень. При цьому особливу увагу необхідно приділити підтримці діяльності оператора у випадку виникнення особливих випадків в польоті. Для вирішення цієї задачі важливим кроком є розробка моделей представлення знань про аварійні ситуації, що можуть виникати в польоті.

Особливістю задачі управління повітряним рухом є прийняття рішень в умовах відсутності, нестачі або неточності інформації на поточний момент часу, тобто вона відноситься до класу задач, що слабо формалізуються. Для проектування СППР використовують різні методи. Одним з ефективних підходів, що дозволяє подолати проблему невизначеності є клас ймовірнісних методів, що ґрунтуються на байєсівському підході [1]. Ймовірнісні міркування дозволяють поєднувати знання щодо предметної області з ймовірнісними законами, і таким чином враховувати фактори, що напряму не спостерігаються, але є важливими при прийнятті рішення. Незважаючи на те, що застосування мереж Байєса для побудови моделей при створенні комп'ютерних

систем та засобів, що навчаються, в різних областях здійснюється з 90-х років минулого сторіччя, активне використання байєсівських методів спостерігається лише останнє десятиліття. Це обумовлено рядом факторів, а саме: значним ускладненням математичного апарату при збільшенні моделі, високим вхідним рівнем ймовірнісних знань експерта, що розв'язує проблему, недостатньою виразністю відомих ймовірнісних моделей, рішення для яких доведені, складністю програмування алгоритмів ймовірнісного висновку, високою складністю валідації та верифікації програмної реалізації розроблених алгоритмів. Стрімкий розвиток обчислювальної техніки сприяв тому, що байєсівські методи знову набули широкої популярності і активно використовуються при побудові систем підтримки прийняття рішень у різних предметних областях.

**Мета статті** - розробка ймовірнісних моделей представлення знань про аварійні ситуації в польоті з використанням байєсівських мереж.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [2] пропонується СППР авіадиспетчера, в якій застосовуються нейронні мережі для визначення рівня потенційного збитку при виборі певної альтернативи завершення польоту. Однак на відміну від запропонованої моделі на основі нейромережі, що відноситься до класу "чорних скриньок" застосування байєсівських мереж при побудові моделей дозволить отримати зрозуміле пояснення одержаних висновків і має логічну інтерпретацію.

### Основна частина

Під особливим випадком в польоті розуміють ситуацію, що виникає у випадку відмови функціональних систем повітряного судна чи потрапляння його в умови, коли дії екіпажу будуть відрізнятись від встановленого режиму польоту і внаслідок якої виникає загроза безпеці повітряного судна і людям, що знаходяться в ньому [3]. В даній статті розглянемо такий особливий випадок в польоті як відмова двигуна на повітряному судні.

Виникнення такого особливого випадку в польоті, як відмова двигуна може бути пов'язано з наступними типами відмов [3]:

- нестійка робота двигуна, яка може бути спричинена зменшенням тяги, підвищенням температури мастила, зниженням тиску мастила;
- зупинка двигуна, обумовлена повною витратою палива, відмовою системи подачі палива, низькою якістю, забрудненням палива;
- руйнування лопаток компресора двигуна внаслідок попадання птахів, каміння та інших предметів;
- пожежа двигуна, яка може бути спричинена витоком палива, помпажем та іншими причинами;
- нелокалізоване руйнування двигуна;
- інші причини.

Точне та правильне визначення типу відмови двигуна може бути здійснено по багатьом ознакам, як по прямим так і другорядним. Найбільш характерними ознаками відмови двигуна є: зниження тиску мастила та палива, зниження обертів, поява тряски

двигуна, зміна звуку, крен у сторону двигуна, який відмовив тощо. Оцінка стану та контролю працездатності двигуна здійснюється по вбудованим приладам контролю, світловою та звуковою сигналізацією.

У випадку виникнення відмови двигуна екіпаж повітряного судна діє згідно керівних документів, а саме: Керівництва з льотної експлуатації для певного типу повітряного судна і Настановою з виконання польотів у цивільній авіації. Командир ПС повинен прийняти відповідне рішення щодо можливості подальшого продовження польоту.

Основними факторами, що впливають на визначення можливості продовження польоту у випадку відмови двигуна є тип ПС (кількість двигунів ( $N_{\text{дв.ПС}}$ ), кількість двигунів, що відмовили ( $N_{\text{відм.дв.}}$ ), тип відмови.

На основі вказаних факторів побудуємо причинно - наслідкову ймовірнісну модель визначення можливості продовження польоту у вигляді мережі Байєса.

Побудову мережі будемо здійснювати за наступними принципами:

- кореневими вершинами мережі є типи відмов двигуна на повітряному судні, а саме: зупинка двигуна (ЗД), пожежа двигуна (ПД), нестійка робота двигуна (НРД), руйнування гвинта (РГ), а також фактори, що відносяться безпосередньо до повітряного судна, а саме: кількість двигунів ПС (КД) та кількість робочих двигунів (КРД);

- листком мережі є вершина, що позначає рішення, яке може бути прийняте внаслідок реалізації ситуації відмови двигуна.

Додатково необхідно визначити кількість можливих значень для всіх вершин мережі:

- для вершин, що відображають типи відмов двигуна таких термів буде два ("*відмова проявилась*" і "*відмова не проявилась*");

- для вершини, що відображає кількість двигунів ПС (КД) та кількість робочих двигунів таких термів чотири ("*1*", "*2*", "*3*", "*4*");

- для вершини, що відображає прийняте рішення щодо можливості продовження польоту (МПП) буде два терми: "*Продовження польоту*", "*Вимушена посадка*".

Графова модель представлена на рис. 1.

У випадку прийняття рішення виконання вимушеної посадки множиною доступних альтернатив є наступні: посадка на найближчому аеродромі і посадка на майданчик.

Розглянемо чинники, які впливають на наслідки виконання посадки для кожної з вказаних альтернатив. Для випадку посадки на аеродромі на потенційні наслідки (збиток) будуть впливати наступні чинники:

- технічна придатність аеродрому;
- тип аеродрому;
- метеомінімум аеродрому;
- придатність аеродрому за метеоумовами;
- досвід КПС.
- можливий злив пального для забезпечення необхідної посадкової маси.



Рис. 1. Модель визначення можливості продовження польоту

Розглянемо більш детально вказані чинники. *Технічну придатність аеродрому* (ТПА) визначають: стан поверхні злітно-посадкової смуги (ЗПС), відповідність довжини ЗПС необхідній довжині для даного типу повітряного судна, оснащення та справність радіотехнічних засобів посадки, наявність ремонтних робіт на ЗПС та можливість її звільнення.

В залежності від типу аеродрому поверхня ЗПС може бути штучною або ґрунтовою або мати обидва типи ЗПС. Умови гальмування ПС на покриттях штучної ЗПС характеризується величиною коефіцієнта зчеплення, товщиною і видом атмосферних опадів (сніг, вода, ожеледиця) [4].

При відхиленні від нормативних умов посадка на штучну злітно-посадкову смугу забороняється [4]. Ґрунтові аеродрому в непогоду "розкисають", що унеможливає їх експлуатацію. Можливість експлуатації ґрунтової ЗПС залежить від міцності ґрунту, міцності й товщини снігу, значення яких залежать від типу ПС [5].

Необхідна для посадки довжина ЗПС залежить від таких чинників:

- тактико-технічних характеристик ПС (типу двигуна, посадкової маси);
- метеоумов (температура повітря, параметри вітру, видимість);
- характеристик ЗПС (нахил, стан поверхні);
- розташування аеродрому (висота над рівнем моря).

Розглянемо випадки, коли потрібна довжина ЗПС для посадки  $L_n$  збільшується відносно стандартної  $L_{cm}$  [4]:

- збільшення посадкової маси ПС  $M_{noc}$  на 1 тону відносно нормативної  $L_{норм. noc}$  – збільшення на 100 м;

- збільшення температури повітря  $t_{нов}$  на  $1^\circ\text{C}$  відносно стандартної ( $t_{нов. cm} = 15^\circ\text{C}$ ) – збільшення на 1%;

- наявність вітру попутного напрямку зі швидкістю  $V_{віт} = 1\text{ м/с}$  – збільшення на 30 м;
- фактичній видимості рівній або меншій за 1000 м – збільшення на 15%;
- мокра ЗПС – збільшення на 15%;
- $L_n$  збільшується на 3% на кожний 1% нахилу  $N_{ЗПС}$  смуги вниз у напрямку магнітного шляхового кута посадки ( $MШК_{noc}$ );
- висоті аеродрому  $H_{аер}$  над рівнем моря ( $H_{рм} = 0$ ) 1 м – збільшення на 0,00233%.

У випадку, якщо на ЗПС виконуються довготривалі ремонтні роботи використання її для посадки неможливе. При короткочасних роботах на ЗПС, наприклад, очищення штучних покриттів від пилу, бруду і сторонніх предметів, необхідно розрахувати, чи встигне звільнитися ЗПС до приземлення ПС. Якщо час, необхідний на звільнення ЗПС не перевищує часу, необхідного для польоту повітряного судна до аеродрому ( $t_{пол} < t_{зв. ЗПС}$ ), то даний аеродром може використовуватись для вимушеної посадки ПС.

Захід на посадку аварійного ПС рекомендується проводити за посадочним радіолокатором, або за посадочним радіолокатором з контролем по привідним радіостанціям (за умови справності даного устаткування) [1-3].

При відмові на аеродромі всіх РГЗ посадки в позаштатних польотних ситуаціях виконують візуальний захід на посадку [6].

*Тип аеродрому.* На складність виконання посадки впливає і тип аеродрому. Так за особливостями географічного розташування аеродрому державної авіації України поділяються на [7]:

- аеродрому, розташовані на місцевості з пересіченим рельєфом та відносними перевищеннями 500 м і більше у радіусі 25 км від контрольної точки аеродрому аеродрому;
- гірські аеродрому - розташовані на висоті 1000 м і більше над рівнем моря;

- гідроаеродроми - спеціально обладнані ділянки на водній поверхні для забезпечення зльоту та посадки амфібійних повітряних суден.

Польоти в гірській місцевості вважають одними з найбільш складних видів польотів і навіть найменша помилка може призвести до авіаційної події. Екіпаж повинен чітко володіти маршрутом, враховувати наявність перешкод різного типу, недопускати зниження нижче мінімально допустимої висоти, враховувати погодні умови: знижений атмосферний тиск, температуру, стоковий вітер, а також зони нестійкої роботи засобів зв'язку та РТЗ.

*Метеомінімум аеродрому.* Для забезпечення необхідного мінімуму аеродрому відповідний напрямок ЗПС повинен бути обладнаний радіосвітлотехнічним обладнанням (РСТО) у стаціонарному або рухомому варіанті відповідно до складу радіотехнічного обладнання аеродрому державної авіації України [6].

В залежності від складу радіотехнічного обладнання аеродрому поділяють на категоровані (1, 2, 3 категорія) та некатегоровані, обладнані засобами посадки.

*Придатність аеродрому за погодними умовами.* Аеродромом, придатний за погодними умовами (weather-permissible aerodrome) згідно [7] вважається аеродром, на якому протягом передбачуваного часу використання, фактична погода або прогнози, або їх комбінації вказують на те, що погодні умови будуть на рівні або вищі від необхідного експлуатаційного мінімуму, та повідомлення про стан поверхні злітно-посадкової смуги вказує на можливість безпечної посадки.

Метеомінімум в авіації – це мінімальні значення висоти нижньої межі хмар  $h_{НМХ}$  і горизонтальної видимості  $V$ , при яких можливе виконання злетів, посадок і польотів за маршрутом. Встановлюється окремо для аеродрому, для типу повітряного судна і для пілотів [3]. Для аеродрому метеомінімум може встановлюватися окремо для різних злітно-посадочних смуг і для різних схем заходу на посадку. Для аеродрому і для типу повітряного судна можуть бути одночасно встановлені різні метеомінімуму в залежності від справності або несправності використовуваних систем забезпечення польотів (світлосигнальні прилади та апаратуру зв'язку, радіомаяки, навігаційні прилади тощо).

Отже при оцінці придатності аеродрому за погодними умовами необхідно провести оцінку наступних факторів:

- наявності небезпечних метеорологічних явищ (НМЯ)  $k_{НМЯ}$ ;
- відповідність висоти нижньої межі хмарності  $h_{НМХ}$  і видимості  $V$  встановленим мінімумам;
- відповідність фактичних: попутної, зустрічної і бокової складових вітру установленим гранично допустимим;
- стану поверхні злітно-посадкової смуги.

До небезпечних метеоявищ, що впливають на можливість безпечного виконання посадки, відносять наступні [4]: гроза, град, сильна бовтанка, си-

льний зсув вітру, сильне обмерзання, смерч, буревій, сильна пильна буря, сильні зливові опади. Встановлений мінімум командира повітряного судна залежить від класу командира.

При виникненні позаштатних польотних ситуацій посадка в умовах, нижчих за метеорологічний мінімум, дозволяється [4].

*Досвід екіпажу.* Професійні компетенції, досвід, спеціальні знання, вміння, навички взаємодії з машиною, висока відповідальність є тими необхідними якостями, завдяки яким пілот може успішно виконувати програму польоту. Вказані якості дозволяють пілоту контролювати технічний стан кожного вузла машини, вчасно побачити, відчути неполадки в системах ПС, вжити своєчасні заходи по перевірці їх стану, виключити можливі несвоєчасні дії колег по екіпажу і не пропустити їх можливі помилки, парирувати небезпечні ситуації, що, в свою чергу, дозволить зменшити виникнення інцидентів у повітрі.

В залежності від спеціальності, рівня підготовки, досвіду роботи особам льотного складу в встановленому порядку надається клас і видається відповідне свідоцтво, що підтверджує відповідний рівень професійної підготовки. Присвоєння класу здійснюється в залежності від кількості годин нальоту, куди, у тому числі, входять кількість годин: самостійного нальоту, польоти по приладам та польоти вночі.

*Злив пального.* Повітряному судну в аварійній ситуації може знадобитися злити пальне для забезпечення необхідної посадкової маси. При визначенні зони зливання палива необхідно уникати густонаселених районів, а також районів, в яких по метеозведенням наявні або очікуються грози. Маршрут польоту по можливості необхідно прокладати відсторонь міст та селищ, бажано над водним простором.

Зливати паливо можуть не всі типи ПС. Більш ймовірно таку можливість мають великі ПС, наприклад Boeng-767 [4].

Враховуючи описані вище фактори побудуємо модель визначення потенційного збитку для посадки на аеродромі у вигляді мережі Байєса (рис. 2).

Визначимо кількість можливих термів для всіх вершин мереж.

Для вершин *Відповідність довжини ЗПС (ВДЗПС), Працездатність засобів посадки (ПЗП), Наявність небезпечних метеоявищ (НМЯ), Відповідність складових вітру (ВСВ), Технічна придатність аеродрому посадки (ТПА), Придатність аеродрому за метеоумовами (ПММ), Злив пального (ЗП)* таких термів два: "true" і "false".

Вершина *Мінімум аеродрому (МА)* згідно класифікації [6] має 4 терми: "1", "2", "3", "б/к". Вершина *Тип аеродрому (ТА)* згідно класифікації [7] має 3 терми: "рівнинний", "гірський", "гідроаеродром". Вершина *Тип поверхні (ТП)* має два терми: "грунтова", "штучна". Вершина *Досвід пілота (ДП)* має 3 терми, згідно рівнів класності, що надаються пілоту: "1", "2", "3".





Рис. 2. Модель визначення потенційного збитку при посадці на аеродром

Вершина - листок *Потенційний збиток при посадці на аеродром (ПЗаер)* буде мати п'ять термів: "А", "В", "С", "D", "Е", які визначені згідно шкали ІСАО [8], наведені в табл. 1.

Таблиця 1. –Шкала серйозності наслідків

Шкала ІКАО		Авіаційні подія
Серйозність події	Ступінь	
катастрофічна	А	авіаційна катастрофа
небезпечна	В	авіаційна подія
значна	С	серйозний інцидент
незначна	D	інцидент
наднизька	Е	подія, що підлягає розслідуванню

Далі розглянемо випадок посадки на майданчик.

Для випадку посадки на майданчик на потенційні наслідки (збиток) будуть впливати наступні чинники:

- трудомісткість приземлення;
- складність проведення пошуково-рятувальних робіт;
- тип поверхні майданчика;
- досвід екіпажу;
- придатність майданчика за метеоумовами;
- можливий злив пального для забезпечення необхідної посадкової маси.

*Трудомісткість приземлення* залежить від типу майданчика (попередньо визначений або підібраний з повітря), а також проінформованості пілота ПС щодо місця посадки.

В зоні УПР передбачаються попередньо визначені майданчики, відомі КПС з вільними від висотних перешкод підходами, з рівнинною поверхнею

без штучних перешкод, на значній відстані від населених пунктів, з розміром, що забезпечує посадочну дистанцію для будь-якого типу ПС. Інформацію щодо характеристики аеродрому посадки або попередньо визначених майданчиків для виконання вимушеної посадки пілот зазвичай отримує зі збірника аеронавігаційної інформації, який знаходиться на борту ПС [5]. Рекомендації щодо підбору майданчика з повітря містяться в РЛЕ для кожного типу літака. Найменш трудомісткою є посадка на аеродромі, найбільш трудомісткою – на майданчику, підбраному з повітря.

*Складність проведення пошуково-рятувальних робіт* визначається точністю визначення місця посадки, відстанню до найближчої бази пошуково-рятувальних сил, які розміщені тільки на великих аеродромах, наявністю під'їздів для прибуття пошуково-рятувальних сил на місце посадки.

На попередньо визначених майданчиках точність визначення місця приземлення ПС значно зростає, до того ж, подібні майданчики підбираються обов'язково з наявністю під'їздів і з близьким розташуванням бази пошуково-рятувальних сил [5].

*Тип поверхні майданчика.* Підстилаюча поверхня майданчиків з точки зору особливості виконання вимушеної посадки розділяється на п'ять видів [2], саме: рівнинна, лісна, горна, водна, пустельна.

Рекомендованими місцями підбору майданчиків для літаків з колесним шасі є: луг з невисокою рослинністю, оброблювані землі після косовиці злаків (стерня), засіяне люцерною або конюшиною поле, висохлі озера а пустельній місцевості, річкові коси, замерзлі озера, ставки, річки. Також при підборі майданчика з повітря слід уникати таких місць, як ділянки лугу з яскраво-зеленою густою рослинністю, поливні поля люцерни, піщані коси після спадання паводкової води або випадання опадів, полою на річках і озерах, солончаки після опадів. Влітку і восени за станом ґрунту слід віддавати перевагу

ділянкам з невисокою рослинністю, полям зі скоше-ним травостоем. Особливу увагу звертати на одно-рідний фон забарвлення майданчиків: якщо виділя-ються плями з густо зеленим забарвленням, це вка-зує на різке зниження поверхні майданчика і зни-ження міцності ґрунту.

Досвід пілота, придатність майданчика за метеоумовами, можливий злив пального для забезпе-чення необхідної посадкової маси описані вище при описі попередньої моделі.

Побудуємо модель визначення потенційного збитку для посадки на майданчик вигляді мережі Байеса (рис. 3). Визначимо кількість можливих тер-мів для всіх вершин побудованої мережі. Так для вершин *Трудомісткість приземлення (ТП)*, *Придат-*

*ність майданчика за метеоумовами (ПММУ)*, *Інфо-рмованість пілота (ІП)*, *Злив пального (ЗП)*, *Наяв-ність НМЯ (НМЯ)*, *Метеомінімум для посад-ки(ММП)*, *Відповідність складових вітру (BCV)* тер-мів буде два: "true" і "false". Вершина *Досвід піло-та (ДП)* має 3 терми, згідно рівнів класності, що надаються пілоту: "1", "2", "3". Вершина *Тип поверх-ні майданчика (ТПМ)* має п'ять термів: "рівнинна", "лісна", "горна", "водна", "пустельна". Вершина *Тип майданчика (ТМ)* має два терми "Майданчик, піді-браний з повітря" і "Визначений майданчик".

Відповідно вершина - листок *Потенційний зби-ток при посадці на майданчик (ПЗмайд)* буде мати п'ять термів: "A", "B", "C", "D", "E", аналогічні табл. 1.

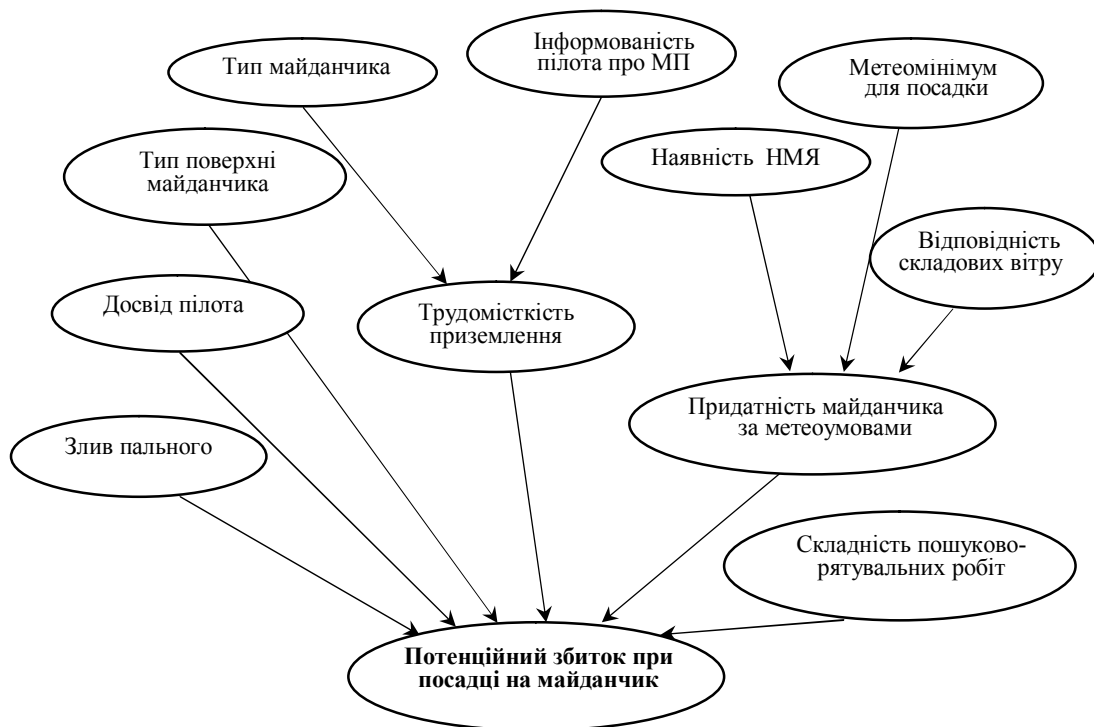


Рис. 3. Модель визначення потенційного збитку при посадці на майданчик

Далі розглянемо логічну схему байєсівського підходу та порядок задання вершин мережі [9, 10]. Нехай в моделі представлення знань існує *s*-мірний вектор параметрів

$$\Theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_s)^T$$

і задачею експерта є визначення найкращої, в деякому сенсі, статистичної оцінки даного параметра  $\hat{\Theta}$  по вхідним *k*-мірним спостереженням

$$\bar{X}_i = (x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, \dots, x_i^{(k)})^T, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Байєсівський підхід використовується як один зі способів формалізації наступного твердження: ступінь нашої розумної впевненості щодо деякого твердження (наприклад числового значення параметру, що цікавить експерта) збільшується і корегується по мірі зростання і поповнення інформації

стосовного явища або предметної області, що досліджується [10].

Можливою формою інтерпретації вказаного вище твердження є наступна: зі збільшенням об'єму вибірки *n*, на основі якої будується оцінка  $\hat{\Theta}_n$ , збільшується міра інформації, якою ми володіємо про неї і наше заключення стає більш ближчим до істини (в сенсі сходимості ймовірностей  $\hat{\Theta}_n$  до  $\hat{\Theta}$ ). Безпосередньо байєсівський спосіб операціоналізації передбачає дві особливості: вираження "ступеню нашої розумної впевненості" в справедливості деякого твердження у вигляді ймовірностей, а також застосування одночасно інформації двох типів: апіорної і інформації, що міститься в статистичних даних [1, 8].

Апіорна інформація представляється у вигляді деякого апіорного розподілу ймовірностей невідомого параметру, що аналізується і який описує сту-

пінь впевненості експерта, що цей параметр прийме певне значення ще до початку отримання вихідних статистичних даних. По мірі надходження статистичних даних цей розподіл уточнюється (перераховується), переходячи від апіорного до апостеріорного розподілу, використовуючи при цьому формулу Байєса:

$$P(A_i \setminus B) = \frac{P(A_i) \cdot P(B \setminus A_i)}{\sum_{j=1}^N P(A_j) P(B \setminus A_j)}. \quad (1)$$

При цьому передбачається, що подія  $B$  має ненульову ймовірність ( $P(B) > 0$ ), а  $A_1, A_2, \dots, A_N$  складають повну систему подій.

Оцінка значення параметрів згідно байєсівського методу представляє собою послідовність наступних кроків:

1. Отримання апіорних відомостей щодо параметру  $\Theta$  (апіорний розподіл  $p(\Theta)$ ).

2. Отримання вихідних статистичних даних

$$X_1, X_2, \dots, X_N.$$

3. Розрахунок функції правдоподібності

$$L(X_1, X_2, \dots, X_N / \Theta).$$

4. Розрахунок апостеріорного розподілу параметру  $\Theta$ :

$$\hat{p}(\Theta / X_1, X_2, \dots, X_N).$$

5. Отримання заключення щодо значення параметру  $\Theta$  (точкова або інтервальна оцінка).

Отримання апіорних відомостей базується на використанні попереднього досвіду. Апіорний параметр представляється у вигляді деякої функції  $p(\Theta)$ , яка у випадку дискретного параметру задається у вигляді ймовірності, а у випадку неперервного параметру – функцією щільності розподілу в точці  $\Theta$ .

Вихідні дані  $X_1, X_2, \dots, X_N$  породжуються згідно закону розподілу ймовірності  $f(X/\Theta)$  і є функцією щільності ймовірності випадкової величини  $\zeta = (\zeta^{(1)}, \zeta^{(2)}, \dots, \zeta^{(k)})^T$  в точці  $X$  для неперервних параметрів і ймовірністю для дискретної  $\zeta$ .

Функція правдоподібності визначається згідно виразу:

$$\begin{aligned} L(X_1, X_2, \dots, X_N / \Theta) &= \\ &= f(X_1 / \Theta) \cdot f(X_2 / \Theta) \cdot \dots \cdot f(X_N / \Theta). \end{aligned} \quad (2)$$

Апостеріорний розподіл розраховується за допомогою формули Байєса (1) і має наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \hat{p}(\Theta / X_1, X_2, \dots, X_N) &= \\ &= \frac{p(\Theta) \cdot L(X_1, X_2, \dots, X_N / \Theta)}{\int L(X_1, X_2, \dots, X_N / \Theta) \cdot p(\Theta) d\Theta}. \end{aligned} \quad (3)$$

Для визначення точкових і інтервальних оцінок використовують апостеріорний розподіл

$$\hat{p}(\Theta / X_1, X_2, \dots, X_N).$$

Для точкових оцінок користуються середнім або модою:

$$\begin{aligned} \hat{\Theta}_{сер} &= \mathbf{E}(\Theta / X_1, X_2, \dots, X_N) = \\ &= \int \Theta \cdot \hat{p}(\Theta / X_1, X_2, \dots, X_N) d\Theta. \end{aligned} \quad (4)$$

$$\hat{\Theta}_{мод} = \arg \max_{\Theta} \hat{p}(\Theta / X_1, X_2, \dots, X_N). \quad (5)$$

При побудові байєсівського довірчого інтервалу за виразом (3) розраховують функцію  $\hat{p}(\Theta / X_1, X_2, \dots, X_N)$  апостеріорного закону розподілу параметру  $\Theta$ , а потім визначають 2 точки цього закону (права і ліва межа інтервалу):

$$100 \cdot \frac{P_0 + 1}{2} \quad \text{і} \quad 100 \cdot \frac{1 - P_0}{2},$$

де  $P_0$  – задана довірна ймовірність.

Реалізацію запропонованих моделей доцільно виконувати за допомогою технології ймовірнісного програмування. Ймовірнісне програмування – це результативний прогресивний підхід, який володіє великою виразною міццю, за рахунок використання мов програмування, повних за Т'юрингом. Йому властиві:

- знижений рівень вхідних знань, завдяки застосуванню базових розповсюджених мов програмування;
- автоматизація алгоритмів ймовірнісного висновку;
- можливість включати написаний код в код будь яких додатків, що розробляються.

На даний час існує та розробляється велика кількість систем ймовірнісного програмування, в тому числі і для роботи з мережами Байєса. Серед множини програмних засобів, які дозволяють реалізувати такі мережі слід відмітити Figaro - систему ймовірнісного програмування, з відкритим вихідним кодом, яка розробляється з 2009 року. Реалізована у вигляді бібліотеки на мові Scala.

Завдяки застосуванню Scala, Figaro відповідно отримує ряд переваг, одні з яких пов'язані з застосуванням мови загального призначення, а інші - з специфікою самої мови Scala. Серед таких переваг є наступні [11]:

- завдяки реалізації бібліотек на Scala його можна застосовувати в програмах, що написані на мовах Scala, Java, що спрощує його інтеграцію з додатками.
- Scala - сучасна прогресивна мова програмування, що володіє безліччю корисних засобів для організації програм, тобто користуючись Figaro, всі ці засоби є в розпорядженні користувача.
- наявність повного набору алгоритмів ймовірнісного висновку.

По суті, створення ймовірнісної моделі представляє собою процес написання програми, що

пов'язує всі елементи, враховані в моделі на об'єктній або функціональній мовах програмування з використанням ймовірнісного та детермінованого зв'язків.

### Висновки і напрямки подальших досліджень

В статті проведено аналіз такого особливого випадку в польоті як відмова двигуна на повітряному судні.

Визначено основні типи відмов, а також фактори, що впливають на процес прийняття рішення щодо можливості продовження польоту в таких випадках.

Побудовано ймовірнісну модель визначення можливості продовження польоту на основі байєсівської мережі з описанням термів використаних вершин, визначених в результаті проведеного аналізу.

Побудовано байєсівські моделі визначення ризику (потенційного збитку) для використання при виборі альтернативи завершення польоту (посадка на майданчик або посадка на аеродром) у випадку виконання вимушеної посадки. Для визначення рівня потенційного збитку використано шкалу серйозності наслідків ІКАО.

Описана логічна схема байєсівського підходу та порядок завдання вершин такої мережі.

Обґрунтовано вибір програмного засобу, а саме системи ймовірнісного програмування Figaro для програмної реалізації розроблених байєсівських моделей.

Напрямок подальших досліджень є розробка методу автоматизованого вироблення рішень при виникненні особливих випадків в польоті з використанням побудованих ймовірнісних моделей для його використання при розробці СППР авіадиспетчера.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Згуровський М.З., Бідюк П.І., Терентьев О.М., Просьянкіна-Жарова Т.І Байєсівські мережі в системах підтримки прийняття рішень. – Київ: ТОВ "Видавниче підприємство "Едельвейс", 2015. – 300с.
2. Сікірда Ю.В. Моделювання систем підтримки прийняття рішень авіадиспетчера в позаштатних льотних ситуаціях Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.06 / Ю.В.Сікірда. — К., 2004. — 19 с.
3. Положення про організацію роботи об'єктів обслуговування повітряного руху Украероруху: наказ Украероруху від 12.03.2008 №64 (з поправками №1-№10). – К.: Украерорух, 2008. – 52 с.
4. Богаткін О.Г. Авіаційна метеорологія. Підручник. – СПб.: Изд. РГГМУ, 2005. – 328 с.
5. Правила визначення придатності до експлуатації аеродромів та злітно-посадкових майданчиків державної авіації України. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1571-14#Text>
6. Авіаційні Правила України "Обслуговування повітряного руху". – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0727-19#Text>.
7. Інструкція з експлуатації аеродромів державної авіації України. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1229-13#Text>.
8. ICAO Doc 9859 AN/474 Safety Management Manual (SMM). Third edition. ICAO. 2013. 254 p.
9. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускнуої здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
10. Айвазян С.А. Баесовский подход в эконометрическом анализе. / Прикладная эконометрика. – №1(9). – 2008. – С.93-130.
11. Пфедфер Ави Вероятностное программирование на практике / Пер. с англ. Слинкин А.А. – М.: ДМК Прес, 2017. – 462 с.

Received (Надійшла) 12.06.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.08.2020

### Development of models of representation of knowledge about emergency situations for the DSS of an air traffic controller

A. Kolesnyk, V. Pavlenko, V. Zatkhei

**Abstract.** The **object of study** in the paper is to investigate the possibility of applying Bayesian networks apparatus for constructing models of emergency on the aircraft. **The goal is** to develop models for representing knowledge about emergency situations in flight for their further use in the development of the DSS of an air traffic controller. **The tasks are:** determination and analysis of factors that affect the decision-making process about the possibility of continuing the flight in the event of a special case in flight using the example of engine failure; analysis of factors that affect the determination of the level of risk (potential damage) when performing an emergency landing; construction of probabilistic models for determining the possibility of continuing the flight and determining the potential damage of alternatives to the completion of the flight using the Bayesian network. **The methods used are:** methods of analysis and synthesis of complex information systems, methods of simulation and statistical modeling. **The following results were obtained.** Many factors have been identified that influence the decision-making process in the event of such a special case as engine failure on an aircraft. A probabilistic model has been built that shows the decision-making process to determine the possibility of continuing the flight in case of engine failure on the aircraft in flight. Probabilistic models for determining the potential damage for the case of an emergency landing at the airfield and site have been built. The choice of a software tool, namely the Figaro probabilistic programming system, for the implementation of the developed Bayesian models is substantiated. **Conclusions.** The direction of **further research** is the development of a method for automated decision making in case of special cases in flight using the constructed probabilistic models for its use in building the DSS of an air traffic controller.

**Keywords:** engine failure, special case in flight, potential damage, emergency landing, air traffic controller.

А. М. Кривоножко, О. В. Петров, Г. В. Щербак, В. М. Сургай

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛЯ ВЕКТОРІВ РУХУ ЗІ ЗВАЖУВАННЯМ ВИМІРІВ БЛОКІВ ЗОБРАЖЕННЯ

**Анотація.** На сучасному етапі не в повній мірі досліджено питання впровадження в систему автономного управління БПЛА моделей та методів спрямованих на обробку блоків зображення та оптичного потоку, що отримується безпілотним комплексом в процесі виконання польотного завдання. Впровадження вказаних моделей та методів дозволяє впровадити ієрархічну обробку зображення поверхні, над якою проводиться політ, що значно розширить можливості системи керування БПЛА щодо рефлексивного управління. **Предметом** вивчення в статті є процеси рефлексивного управління безпілотними летальними апаратами. **Метою** статті є розробка методу визначення поля векторів руху зі зважуванням вимірів блоків зображення. **Завдання:** розробити моделі та методи спрямованих на обробку блоків зображення та оптичного потоку, що отримується безпілотним комплексом в процесі виконання польотного завдання. Аналізованими **моделями та методами** є: модель оптичного потоку, адаптивний метод текстурного аналізу для визначення особливостей зображення, метод зважувальної обробки блоків зображення для визначення поля векторів руху. Отримані такі **результати**. Розроблені моделі та методи, які є базисними для розробки методу визначення перешкод та динамічних об'єктів для безпілотних літальних апаратів на основі поля векторів руху. Зокрема, розроблено метод визначення поля векторів руху зі зважуванням вимірів блоків зображення. Вказаний метод є базисним для розробки методу визначення перешкод та динамічних об'єктів для безпілотних літальних апаратів на основі поля векторів руху, застосування якого значно розширить можливості рефлексивного управління безпілотними комплексами при виконанні різноманітних польотних завдань. **Висновки.** Впровадження в систему управління БПЛА моделі та методів спрямованих на обробку блоків зображення та оптичного потоку дозволить в подальшому виявляти перешкоди в реальному часі і забезпечувати безпеку руху шляхом визначення та аналізу поля векторів руху.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, блоки зображення, оптичний потік, поле векторів руху.

### Вступ

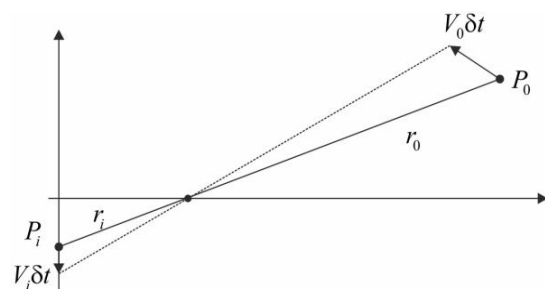
**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Науково-технічний прогрес і пов'язане з ним вдосконалення елементної бази істотно змінюють інтенсивність застосування БПЛА, постійно розширюють області використання та задачі, які вирішуються за допомогою безпілотних комплексів. Широке застосування апаратури виготовленої з використанням сучасної елементної бази робить проблематичним застосування існуючого науково-методичного апарату керування БПЛА через неповне використання можливостей щодо автономного управління. Вказані факти обумовлюють необхідність критичного аналізу відомих методів управління БПЛА та розробку нового науково-методичного апарату щодо цього питання [1].

**Аналіз літератури.** Аналіз літератури показав [2, 3], що на сучасному етапі не в повній мірі досліджено питання впровадження в систему автономного управління БПЛА моделей та методів спрямованих на обробку блоків зображення та оптичного потоку, що отримується безпілотним комплексом в процесі виконання польотного завдання. Впровадження вказаних моделей та методів дозволяє впровадити ієрархічну обробку зображення поверхні, над якою проводиться політ, що значно розширить можливості системи керування БПЛА щодо рефлексивного управління. Даний факт тягне за собою необхідність вдосконалення існуючого науково-методичного апарату, що застосовується для здійснення рефлексивного управління БПЛА.

**Метою статті** є розробка методу визначення поля векторів руху зі зважуванням вимірів блоків зображення.

### Основна частина

**Розробка методу визначення поля векторів руху зі зважуванням вимірів блоків зображення.** Оптичний потік являє собою процедуру оцінювання яскравісно-геометричних змін між поточним і попереднім кадрами. Зміни зображень викликаються рухом об'єктів перед нерухомою камерою або рухом камери в навколишньому середовищі. Оптичний потік – це уявний рух видимого поля (двовимірного розподілу яскравості), що спостерігається при русі камери відносно зображуваних об'єктів або об'єктів відносно камери. Визначимо поле руху. З цією метою припишемо кожній точці зображення вектор швидкості. Нехай у певний момент часу точка  $P_i$  зображення відповідає певній точці  $P_0$  на поверхні об'єкта. Ці дві точки зв'язані рівняннями проектування. Точка об'єкта  $P_0$  переміщується відносно камери зі швидкістю  $V_0$ . Відповідно рухається і точка зображення. За час  $\delta t$  точка переміщується на відстань  $V_0 \delta t$  (рис. 1).



**Рис. 1.** Переміщення точки  $P_0$  зовнішнього середовища, що викликає переміщення відповідної точки  $P_i$  зображення

Яскравості розподілу рухаються разом зі спостережуваними об'єктами. В ідеалі оптичний потік відповідає визначеному раніше полю руху. Але практика не завжди це підтверджує.

Кожен кадр відеопослідовності розміром  $M \times N$  пікселів розбивається на множину блоків  $I_{ij}$ . Блоки не перетинаються і мають розміри  $n \times n$  пікселів, де  $i, j$  – координати центра блока.

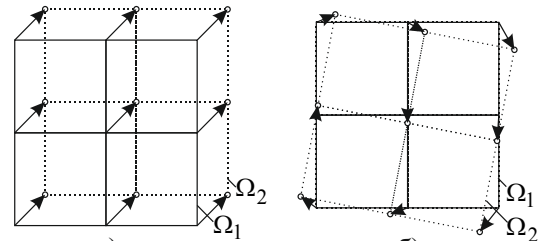
Припустимо, що оптичний потік не сильно відрізняється від поля руху. Тоді можна оцінити відносний рух, виходячи зі зміни зображення в часі. Яскравості зображення рухаються разом зі об'єктами, що спостерігаються. Фактично при оцінюванні параметрів руху послідовностей зображень об'єктом дослідження є система формування зображень. У загальному випадку дана система складається з початкового зображення, середовища, факторів впливу, датчика і пристрою попередньої обробки зображення.

Початкове зображення зазвичай є динамічним. Якщо відеокамера знаходиться на рухомому об'єкті, то одержувані зображення різних кадрів мають взаємні зрушення, повороти, зміни масштабу та ін. Крім того, на послідовності зображень також впливають спотворення оптичних трактів, нестабільність розгортки зчитувальних пристроїв і дефекти виготовлення датчиків, зміна оптичної щільності середовища, турбулентність атмосфери тощо. Тобто, одержувані зображення піддаються впливу майже всіх складових системи формування зображень [4].

Коли зображення рухаються, одні й ті ж елементи сцени на різних кадрах мають різні координати, що геометрично описується деформацією і рухом сітки відліків у просторі при нерухомій сцені або рухом елементів сцени (рис. 2).

У загальному випадку сітка відліків кожного кадру  $\Omega_1$  є не прямокутною, а криволінійною. Зміщення кожного вузла  $ij$  сітки  $\Omega_2$  відносно його положення на  $\Omega_1$  (або зміщення елемента сцени у вузлі  $ij$  відносно його положення на  $\Omega_1$ ) задається векто-

ром  $(u, v)_{ij}$ . Сукупність таких векторів становить векторне випадкове поле  $z = \{(u, v)_{ij} : ij \in \Omega\}$ , задане на сітці  $\Omega$ . При розгляді послідовності кадрів отримується випадкове поле  $\{(u, v)_{ij}^{(t)} : ij \in \Omega, t \in T\}$ , де  $t$  – номер кадру. Очевидно, що при такому поданні розмірність векторів  $(u, v)_{ij}$  (або  $(u, v)_{ij}^{(t)}$ ) збігається з розмірністю сітки  $\Omega$ .



а – паралельне зміщення б – зміщення і поворот

Рис. 2. Міжкадрова деформація сітки зображення

Міжкадрові перетворення можна описати по іншому. Нехай кожне положення сітки розглядається як система координат. Тоді міжкадрові перетворення подаються як випадкові перетворення

$$(u, v)_{xy} = f(xy) = (f_1(xy), f_2(xy), \dots, f_n(xy))^T \quad (1)$$

системи координат  $\Omega_2$  в систему координат  $\Omega_1$ , де  $n$  – розмірність сітки  $\Omega$ . При відомих міжкадрових зміщеннях (зсув, поворот, зміна масштабу тощо), для полегшення опису перетворення (1) задається параметрично

$$(u, v)_{xy} = f(x, y, \alpha). \quad (2)$$

На рис. 3 зображено алгоритм блокового оцінювання оптичного потоку та формування поля векторів руху.

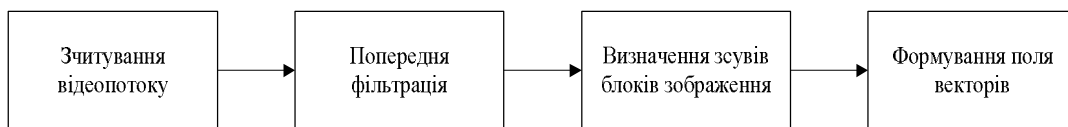


Рис. 3. Алгоритм блокового оцінювання руху

Дослідимо отриману за допомогою відеокамери послідовність кадрів зображень, попередньо розбитих на окремі блоки і заданих на регулярній прямокутній сітці з одиничним кроком.

**Модель оптичного потоку та поблокове визначення векторів руху.** Рівняння оптичного потоку має дві невідомі компоненти вектора руху  $(u, v)$ . Припустимо близькість векторів руху для всіх пікселів з околиці точки  $(x, y)$ . Тоді можна отримати більшу кількість рівнянь для двох невідомих. Запропонований метод базується на полі руху, побудованому на основі оцінок зміщення не точок, а окремих блоків  $B_{ij}$ , на які попередньо розбитий кожен кадр відеопослідовності розміром  $M \times N$  пікселів

$$B_{ij}(t) = \{I(x_i, y_j, t) : x_k, y_l \in B_{ij}\}, \quad (3)$$

$$i - n/2 < k < i + n/2; j - n/2 < l < j + n/2,$$

де  $i, j$  – координати центра блока.

Блоки розміщені послідовно зліва направо, зверху вниз. Сумарна площа всіх блоків, що покривають весь кадр, дорівнює площі кадру. Задача визначення руху зводиться до пошуку векторів руху  $(u, v)_{ij}$  для кожного блока  $I_{ij}$ . Позначимо вектор руху  $\vec{z}_{ij} = (u, v)_{ij}$ . Тоді в момент часу  $t + \Delta t$  яскравісна функція для блока  $B_{ij}$  дорівнює:

$$B_{ij}(t + \Delta t) = \{I(x_i + u_{ij}, y_j + v_{ij}, t + \Delta t)\}. \quad (4)$$

Оптимальна оцінка параметрів вектору руху центра блока складає:

$$\hat{z}_{ij} = \min_{z_{ij}} \sum_{y, x \in B_{ij}}^n |B_{ij}(t) - B_{ij}(t + \Delta t)|^2. \quad (5)$$

Оцінка (5) зводиться чисельно до ітераційної процедури мінімізації

$$Q(z)_{ij} = \sum_{y, x \in B_{ij}}^n |B_{ij}(t) - B_{ij}(t + \Delta t)|^2. \quad (6)$$

Розкладемо  $B_{ij}(t + \Delta t)$  у ряд Тейлора:

$$B_{ij}(t + \Delta t) = B_{ij}^0(t + \Delta t) + \frac{dB_{ij}^0(t + \Delta t)}{dx} u_{ij} + \frac{dB_{ij}^0(t + \Delta t)}{dy} v_{ij}$$

Тоді модельна функція стає лінійною [5].

Після диференціювання функції  $Q(z)_{ij}$  за  $u, v$  і порівнювання частинних похідних до нуля, отримаємо систему рівнянь для визначення оцінок параметрів  $(u, v)_{ij}$ , які забезпечують мінімум функції  $Q$ :

$$\frac{\partial Q(z)_{ij}}{\partial u} = 0, \quad \frac{\partial Q(z)_{ij}}{\partial v} = 0. \quad (7)$$

Диференціюючи вираз (7), отримаємо

$$\begin{cases} \sum_{x, y \in B_{ij}}^n \left[ (B_{ij}(t) - B_{ij}(t + \Delta t)) \left( \frac{dB_{ij}^0(t + \Delta t)}{dx} \right) \right] = 0; \\ \sum_{x, y \in B_{ij}}^n \left[ (B_{ij}(t) - B_{ij}(t + \Delta t)) \left( \frac{dB_{ij}^0(t + \Delta t)}{dy} \right) \right] = 0. \end{cases} \quad (2.14)$$

Для визначення оптимального вектору МНК-оцінки параметра  $\hat{z}_{ij}$  використаємо векторно-матричний вираз

$$\hat{z}_{ij} = (A_{ij}^T A_{ij})^{-1} \cdot A_{ij}^T y_{ij}, \quad (9)$$

де  $A_{ij}$  – визначник матриці даних  $\nabla B_{ij}(t + \Delta t)$ ;  $y_{ij}$  – вектор-стовпець правих частин рівнянь  $\Delta B_{ij}$ ;

$$y = \bar{y} + \varepsilon, \quad (10)$$

де  $\varepsilon$  – вектор-стовпець помилки моделі;

$\bar{y}$  – вектор-стовпець істинних значень  $y$ .

Оцінки  $\hat{z}_{ij}, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$  є випадковими величинами, які є сумою істинного значення  $z_{ij}$  і деякої випадкової помилки  $\Delta z_{ij}$

$$\hat{z}_{ij} = z_{ij} + \Delta z_{ij}; \quad \hat{z}_{ij} = z_{ij} + (A_{ij}^T A_{ij})^{-1} A_{ij}^T \cdot \varepsilon, \quad (11)$$

де  $(A_{ij}^T A_{ij})^{-1} A_{ij}^T \cdot \varepsilon$  – вектор помилок оцінювання параметрів  $\hat{z}_{ij}$ .

Мірою точності у статистиці є дисперсія оцінок моделі. Точність та ефективність оцінок залежать

від міри випадкового розкиду значень оцінок  $\hat{z}_{ij}$  відносно істинних значень  $z_{ij}$ . Вона визначається дисперсією і коваріаційною матрицею:

$$\mathbf{cov}(\hat{z}_{ij}) = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \mathbf{cov}(z_1 z_2) & \dots & \mathbf{cov}(z_1 z_n) \\ \mathbf{cov}(z_2 z_1) & \sigma_2^2 & \dots & \mathbf{cov}(z_2 z_n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{cov}(z_n z_1) & \mathbf{cov}(z_n z_2) & \dots & \sigma_n^2 \end{pmatrix}, \quad (12)$$

де  $\sigma_i^2 = D(\hat{z}_{ij})$  – дисперсія оцінки.

Дисперсію оцінки  $\hat{z}_{ij}$  можна знайти як діагональні елементи матриці (12). Вираз матриці оцінок (12), як показано у роботі [6], можна спростити

$$\mathbf{cov}(\hat{z}_{ij}) = \sigma_\varepsilon^2 \cdot (A_{ij}^T A_{ij})^{-1}. \quad (13)$$

Позначимо матрицю  $A_{ij}^T A_{ij}$  як  $G_{ij}$ . Вона тісно зв'язана з коваріаційною матрицею, яка є вихідним об'єктом для різних видів багатовимірного аналізу. Дисперсії і коваріації оцінки  $\hat{z}_{ij}$  можуть бути визначені як елементи матриці  $\sigma_\varepsilon^2 \cdot (A_{ij}^T A_{ij})^{-1}$ .

**Адаптивний метод текстурного аналізу для визначення особливостей зображення.** Відомі декілька алгоритмів визначення особливостей зображення. Так, алгоритм Lucas-Kanade передбачає пошук особливих точок зображення за допомогою матриці Гессе. Детермінант матриці Гессе (гессіан) досягає екстремуму в точках максимальної зміни градієнта яскравості. Він добре детектує точки, кути і краї ліній. Матриця даних  $G$  є добутком матриць Якобі відповідно до виразу  $M \{ \nabla B^T \nabla B \} = -M \{ \nabla^2 B \}$ . В асимптотичному сенсі аналіз матриці Гессе відповідає аналізу добутку матриць Якобі.

Для більш об'єктивної оцінки в роботі використовуватимемо аналіз на основі числа обумовленості матриці даних  $G$ . Дане число є мірою чутливості системи лінійних рівнянь до похибок завдання вектора правих частин рівнянь. Число обумовленості обчислюється за формулою [5]

$$\mathit{cond}(G) = \|G^{-1}\| \cdot \|G\|, \quad (14)$$

де  $\|G\|$  – норма матриці  $G$ ;  $\|G^{-1}\|$  – норма оберненої матриці  $G$ . Чим більше число обумовленості  $\mathit{cond}$ , тим сильніше вплив і тим більше нестійкий процес знаходження розв'язок. Число обумовленості матриці залежить від вибору норми. Якщо матриця добре обумовлена, то її число обумовленості буде малим при будь-якому виборі норми, а якщо вона погано обумовлена, то її число обумовленості буде великим при будь-якому виборі норми. Доведено, що стійка модель має число обумовленості  $\mathit{cond} \{1 \dots 100\}$ . При  $\mathit{cond}$  від 1 до 10 модель має хорошу обчислювальну стійкість; від 10 до 100 – задовільну, при  $\mathit{cond} > 100$  – незадовільну чутливість.



Вимірювання називаються нерівноточними, якщо результати вимірювань отримано не в однакових умовах і їм відповідають різні дисперсії, а отже, і середні квадратичні похибки. Для обробки нерівноточних вимірювань використовують нову характеристику точності вимірювання – вагу вимірювання. Для характеристики зображення або його фрагмента введемо коефіцієнт текстурованості (показник оцінки числа обумовленості матриці  $G$ ):

$$k = \frac{1}{NM} \sum_{ij} \frac{1}{\text{cond}(G_{ij})} \times 100, \quad (15)$$

де  $NM$  – розмір області.

Значення коефіцієнта текстурованості  $k$  по всьому зображенню для різних типів тестових зображень (рис. 4), наведено в табл. 1.

Отже процедура складається з декількох взаємопов'язаних кроків, основним з яких є розрахунок величини  $k$  для певної області. За її значенням можна адаптивно визначити поріг для помилок векторів. При неперевищенні порога блок необхідно розбити на чотири блоки меншого розміру, використовуючи принципи адаптації для областей зі складною текстурою або в областях, де поточний розмір блока не може забезпечити прийнятний рівень числа обумовленості. Мінімальний розмір блоку складає  $8 \times 8$  пікселів.

Таблиця 1 – Коефіцієнти  $k$  при блочному розбитті на блоки  $8 \times 8$  пікселів

Зображ.	Chessboard	Fingerprint	Cameraman	Karta	Baboon	House
Коеф. $k$	3.4685	3.1355	2.4398	2.4084	2.3558	2.2465

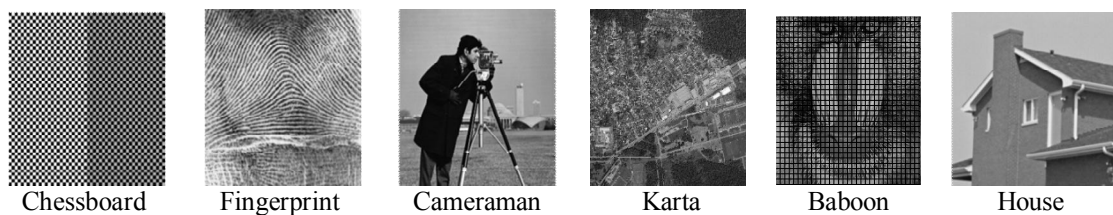


Рис. 4. Типи тестових зображень

Проведемо текстурний аналіз для тестового зображення Karta (рис. 5) і визначимо розподілення блоків з різним показником текстури (рис. 6).

Розподіл блоків з різними показниками текстури показав, що блокові алгоритми оцінки руху є вигідним компромісом за співвідношенням обчислю-

вальна складність / точність знайдених векторів [8]. Побудова універсальних алгоритмів текстурного аналізу зображень із заданими властивостями і простою апаратною реалізацією можлива шляхом комбінування алгоритмів різних категорій в рамках класу блокових методів.

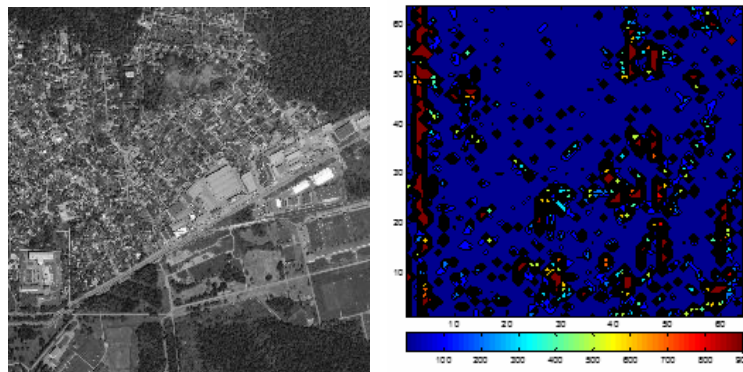


Рис. 5. Тестове зображення Karta

а – блоковий текстурний аналіз б – діаграма розподілу показника текстурованості

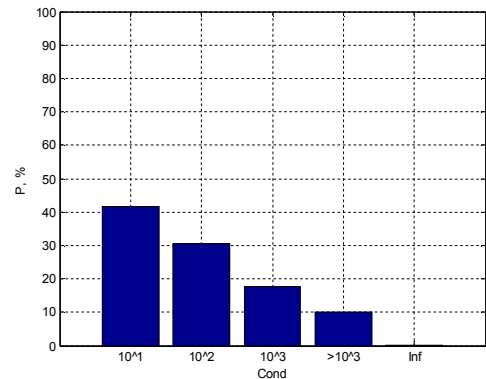


Рис. 6. Текстурний аналіз тестового зображення Karta

**Метод зважувальної обробки блоків зображення для визначення поля векторів руху.** Для визначення руху об'єкта необхідно розв'язати задачу пошуку вектора руху кожного блока  $I_{ij}$ . При цьому вектори  $(u, v)_{ij}$  визначаються співвідношенням

$$(u, v)_{ij} = \underset{(u, v)_{ij} \in B_{ij}}{\text{arg min}} (F(t, i, j, (u, v)_{ij})),$$

де  $F(t, i, j, (u, v)_{ij})$  – функція відповідності блоків, тобто міра близькості блоків поточного і попере-

днього кадрів. Такою функцією, наприклад, є функція SAD (Sum of Absolute Differences)

$$SAD(t, i, j, u, v) = w_{ij} \sum_{p \in I_{i, j}} |I(p, t-1) - I(p + (u, v), t)|, \quad (16)$$

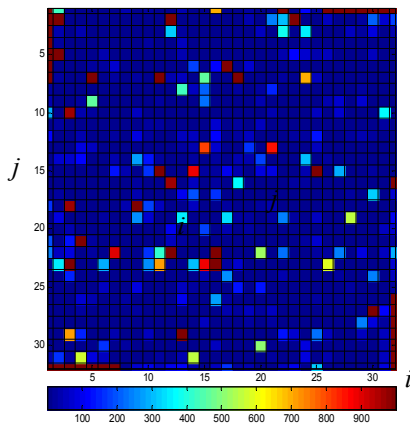
$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{cond}(G_{ij}) < 100; \\ 0, & \text{if } \text{cond}(G_{ij}) \geq 100. \end{cases}$$

Розглянемо відеопослідовність з двох кадрів (рис. 7). Результатом аналізу цієї послідовності є розподіл показника текстури (числа обумовленості

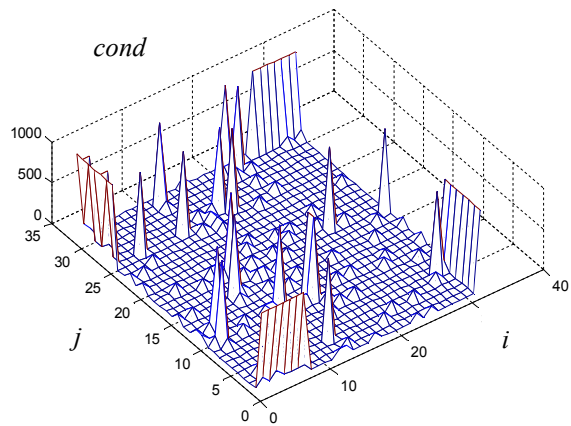


матриці  $G$ ) кожного блоку зображення. Аналізу поточного кадру (рис. 8) дозволяє відокремити неінформативні блоки і визначити відносне розташування інформативних блоків один до одного. Кількісний показник, що перевищує певний поріг, визначає групи блоків, що відповідають області дослідження. Інші блоки вважаються помилково виявленими та ігноруються.

Раніше доведено, що вектор руху вважається визначеним в областях з числом обумовленості від 1 до 10. Якщо  $cond > 10$ , блоки вважаються помилково виявленими та ігноруються (вектор руху дорівнює 0). У гладких областях визначник матриці даних нульовий,  $cond \rightarrow \infty$ , і вектор руху для цих областей не обчислюється.



а – блочний текстурний аналіз



б – 3D діаграма розподілу показника текстурованості

Рис. 8. Аналіз поточного кадру

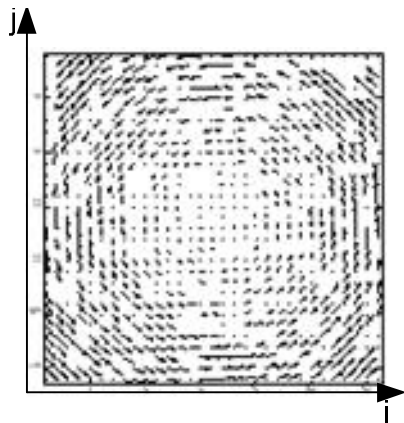
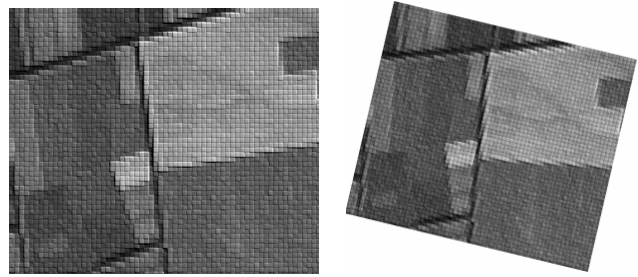


Рис. 9. Поле векторів поточного кадру

Алгоритм дій у методі текстурного аналізу зображення наведений на рис. 10.

Для кожного блока поточного кадру мінімізується функція відповідності блоків за четвертим аргументом. Область мінімізації має бути підмножиною області пошуку. Вектором руху для кожного блока є обчислений аргумент мінімуму функції відповідності. Іншими словами, при обчисленні функції відповідності визначається схожість двох блоків – поточного і попереднього кадрів, зміщеного на вектор  $(u, v)_{ij} \cdot \Delta t$ . Отже, у процесі мінімізації функції відповідності відшукується блок попереднього кадру, найбільш схожий на поточний блок.



а – попередній кадр

б – поточний кадр

Рис. 7. Послідовність зображень

Для визначення руху у послідовності зображень, наведених на рис. 7, побудовано поле векторів (рис. 9).

На першому кроці визначається розмір поточного зображення, яке далі розподіляється на чотири рівні блоки.

На третьому кроці обчислюється ймовірність помилки області. Якщо помилка знаходиться у межах заданого порогу (4-й крок), то визначаються вагові коефіцієнти для всіх блоків області (5-й крок). Якщо ймовірність помилки області знаходиться за межами порогу, то область розбивається на чотири менших підблоки (6-й крок). Якщо підблок знаходиться у межах мінімального розміру (7-й крок), то здійснюється перехід на 3-й крок. Для підблоків, розмір яких знаходиться за межами мінімального розміру, визначаються вагові коефіцієнти (8-й крок).

Таким чином, для розрахунку блокового визначення руху можуть бути використані повний перебір, шаблонні методи, метод ієрархічного пошуку [7] і методи, що ґрунтуються на векторах-кандидатах [6].

У роботі використовується комбінований метод, що об'єднує методи повного перебору і ієрархічного пошуку.

**Метод ієрархічної обробки зображення для оцінки поля векторів руху в реальному часі.** Пари кадрів однакового розміру називаються рівнями. Відповідно опорний і поточний кадри одного рівня мають однаковий розмір. Тоді всі пари кадрів можна подати  $N$  рівнями.

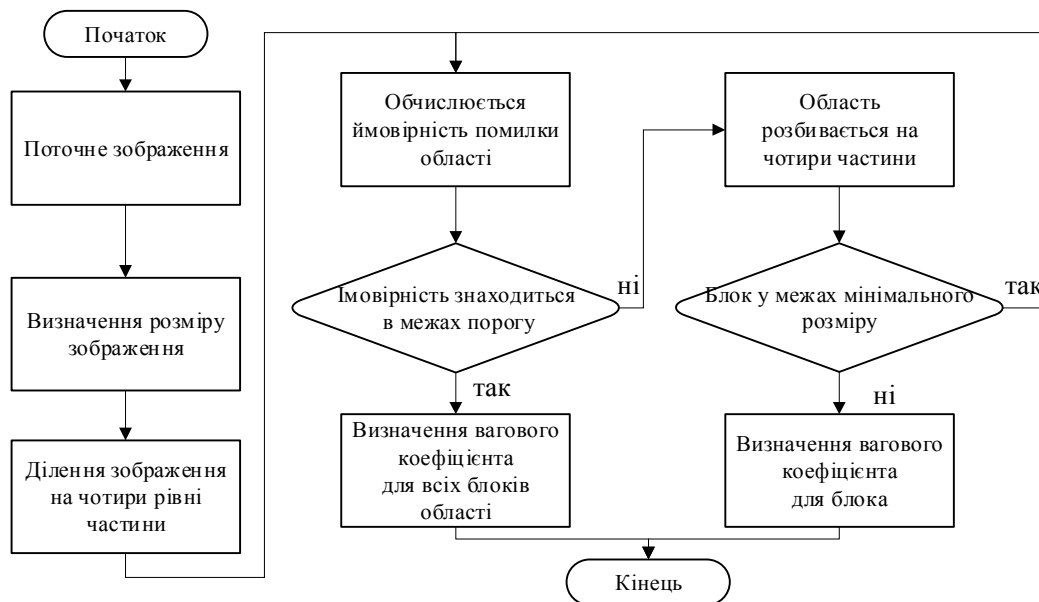


Рис. 10. Алгоритм дій у методі текстурного аналізу зображення

Пронумеруємо рівні відповідно до розміру кадрів, що містяться в них, від меншого до більшого: на 1-му рівні містяться кадри мінімального розміру,

на  $N$ -му – кадри вихідного розміру.

Відповідно до такої схеми, процес оцінювання руху складається з  $N$  кроків. На кожній ітерації обробляється пара кадрів певного рівня – від кадрів меншого розміру до більшого. При цьому оцінюється рух, а стартовою точкою на кожній ітерації є векторне поле, отримане з попередньої ітерації. Іншими словами, на кожній наступній ітерації уточнюються вектори, розраховані на попередній ітерації. Для забезпечення постійної кількості блоків в кадрі на

кожній ітерації при переході на наступну ітерацію розміри області пошуку і блоків, для яких оцінюються вектори, зазвичай збільшуються в  $2n$  рази. Даний метод є стійким до шуму.

Це пояснюється тим, що при зменшенні зображень, як правило, видаляються високочастотні шуми [6, 7].

Але з видаленням високочастотних шумів часто видаляються дрібні деталі. В окремих випадках це є причиною неправильного визначення руху в деталізованих областях.

Схема методу ієрархічної обробки зображення для оцінки поля векторів руху в реальному часі наведена на рис. 11.

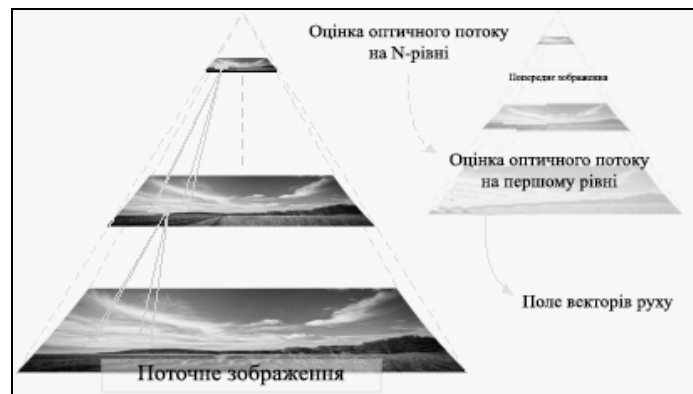


Рис. 11. Схема методу ієрархічної обробки зображення для оцінки поля векторів руху в реальному часі

Суть ієрархічної обробки зображень полягає в такому. Нехай є  $N$  рівнів кадрів. Спочатку розраховуються  $N - 1$  зменшених «копій» поточного і опорного кадрів.

При цьому кожна копія меншого рівня в  $2n$  разів менша попередньої. Тоді всі пари опорного і поточного кадрів представлені  $N$  рівнями.

Етапи методу визначення поля векторів руху з зважуванням вимірів блоків зображення наведені на рис. 12.

## Висновки

1. Розроблено метод визначення поля векторів руху зі зважуванням вимірів блоків зображення.

2. Вказаний метод є базисним для розробки методу визначення перешкод та динамічних об'єктів для безпілотних літальних апаратів на основі поля векторів руху, застосування якого значно розширить можливості рефлексивного управління безпілотними комплексами при виконанні різноманітних польотних завдань.



Рис. 12. Етапи методу визначення поля векторів руху з зважуванням вимірів блоків зображення

3. Впровадження в систему управління БПЛА аналізу оптичного потоку зі зважуванням блоків зображення дозволить виявляти перешкоди в реальному часі і забезпечувати безпеку руху шляхом визначення та аналізу поля векторів руху.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Р. Мохаммади Фархади, "Оценивание аэродинамических коэффициентов и синтез робастного управления боковым движением БПЛА при малых скоростях", Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов, № 3 (91), с. 71-82, 2017.
2. К. В. Мельник, и А. А. Туник, "Проектирование многомерных робастных систем управления полетом на основе процедур  $H_\infty$ -оптимизации и  $\mu$ -синтеза", 2009.
3. . Кортунов, А. Мазуренко, и А. Х. В. Мухаммед, "Средства управления мини и микро-БПЛА", Радиоелектронні і комп'ютерні системи, с. 45–55, 2016.
4. R. D. Colgren, Applications of robust control to nonlinear systems vol. 205: AIAA, 2004.
5. J. O. Rawlings, S. G. Pantula, and D. A. Dickey, Applied regression analysis: a research tool: Springer Sc. & B. Media, 2001.
6. P. G. Hamel, and R. V. Jategaonkar, "Evolution of flight vehicle system identification", J. of aircraft, vol. 33, pp. 9-28, 1996.
7. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускнуої здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
8. J. C. Doyle, B. A. Francis, and A. R. Tannenbaum, Feedback control theory: Courier Corporation, 2013.

Received (Надійшла) 11.05.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.07.2020

#### Development of methods for determining the field of motion vectors with weighting of image blocks measurements

A. Krivonozhko, O. Petrov, G. Shcherbak, V. Surhai

**Abstract.** At the present stage, the issue of introducing into the UAV autonomous control system models and methods aimed at processing image blocks and optical flow obtained by the unmanned complex in the process of performing the flight task is not fully investigated. The introduction of these models and methods allows the introduction of hierarchical image processing of the surface over which the flight is performed, which will significantly expand the capabilities of the UAV control system for reflexive control. The **subject matter** of the article is the reflexive control processes of unmanned aerial vehicles. The **goal** is the development of a method for determining the field of motion vectors with weighing measurements of image blocks. The **tasks**: to develop models and methods aimed at processing image blocks and optical flow received by the unmanned complex in the process of performing a flight task. Analyzed **methods** are: optical flow model, adaptive texture analysis method for determining image features, weighting processing method for image blocks to determine the field of motion vectors. The following **results** were obtained: Models and methods have been developed that are the basis for the development of a method for determining obstacles and dynamic objects for unmanned aerial vehicles based on the field of motion vectors. In particular, a method for determining the field of motion vectors with weighing of image block measurements has been developed. This method is the basis for the development of a method for determining interference and dynamic objects for unmanned aerial vehicles based on the field of motion vectors, the application of which will significantly expand the possibilities of reflexive control of unmanned systems when performing various flight tasks. **Conclusions.** The introduction of a model and methods aimed at processing image blocks and optical flow into the UAV control system will allow in the future to detect obstacles in real time and ensure traffic safety by determining and analyzing the field of motion vectors.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, image blocks, optical flow, motion vector field.

І. О. Падалка<sup>1</sup>, О. М. Дмитрієв<sup>1</sup>, Д. О. Пархоменко<sup>2</sup>, О. М. Мелешко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

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

<sup>3</sup> Науково-дослідний центр ракетних військ і артилерії, Суми, Україна

## МЕТОД ПЕРЕДБАЧЕННЯ ОСОБЛИВИХ ВИПАДКІВ В ПОЛЬОТІ НА ОСНОВІ ЗАВЧАСНОГО ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛЬНИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ В ДІАГНОСТИЧНИХ ДАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПОВІТРЯНОГО СУДНА

**Анотація.** Сучасні бортові цифрові системи автоматичного управління, контролю і діагностики дозволяють вимірювати велику кількість параметрів технологічного обладнання повітряного судна і отримувати масиви такої інформації в цифровому вигляді. Прогнозування особливих випадків в польоті є основним завданням параметричного діагностування технологічного обладнання повітряного судна. Однак існуючі діагностичні моделі, що базуються на відповідних математичних моделях, не повною мірою використовують масиви діагностичних даних та не завжди дозволяють прогнозувати виникнення відмов технологічного обладнання, що робить задачу прогнозування особливих випадків в польоті **актуальною**. **Мета статті** полягає в розробці методу прогнозування особливих випадків в польоті на основі виявлення аномальних послідовностей в діагностичних даних технологічного обладнання повітряного судна; з метою підвищення безпеки польотів. **Результати дослідження.** У роботі запропоновано метод прогнозування особливих випадків в польоті на основі завчасного виявлення аномальних послідовностей в діагностичних даних технологічного обладнання повітряного судна. Для завчасного виявлення аномальних послідовностей пропонується використовувати гібридну стохастичну модель та метод виявлення аномальних послідовностей в діагностичних даних технологічного обладнання повітряного судна. Вхідна тренувальна інформація надається у вигляді векторів спостережень за розвитком процесу в яких особливо виділене кінцеве значення, в якості результату, що характеризують факти приналежності вектору до класу нормальних або аномальних темпоральних патернів. **Висновок.** Застосування запропонованого методу дозволить впровадити прогностичний принцип управління безпекою польотів, а також отримати економічний ефект від запобігання простою повітряного судна через раптової відмови обладнання.

**Ключові слова:** безпека польотів, особливі випадки в польоті, параметрична діагностика, прогнозування, аномальна послідовність, часовий ряд, темпоральний патерн, гібридна стохастична модель.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Попередження особливих випадків в польоті є надзвичайно важливим та актуальним питанням для сучасної авіації. Безпека польотів у значною мірою залежить від справності технологічного обладнання повітряного судна. Прогнозування особливих випадків в польоті є основним завданням параметричного діагностування технологічного обладнання повітряного судна. Прогнозування стану технологічного обладнання повітряного судна дає час авіаційним спеціалістам на прийняття та впровадження рішень, щодо усунення негативних наслідків особливих випадків в польоті, і тим самим підвищує рівень безпеки польотів. Що робить актуальною задачу прогнозування особливих випадків в польоті на основі виявлення аномальних послідовностей в діагностичних даних технологічного обладнання повітряного судна для підвищення оперативності прийняття рішення екіпажем, щодо виявлення, розпізнання та недопущення негативних наслідків особливих випадків в польоті.

Вихідна інформація про поведінку динамічного процесу зазвичай представляється у вигляді часових рядів (ЧР) даних, одержуваних від датчиків первинної інформації. Аномальні стани і їх передвісники представляються у вигляді відрізків часових рядів – аномальних темпоральних патернів (ТП), які потрібно виявляти в потоці даних. Виявлення аномальних

ТП в ЧР є важливою областю інтелектуального аналізу даних. Під виявленням аномальних ТП розуміється пошук "новинок", "сюрпризів", "викидів" та інших особливих подій в темпоральних даних, що істотно відрізняються від ТП нормального поведінки. Звичайно завдання детектування аномалій і методи їх виявлення розглядаються в статичному варіанті як розпізнавання повністю сформованих ТП на вході класифікатора, не враховуючи особливості розвитку ТП в потоці даних, що підлягає розпізнаванню. Однак існує широке коло задач, в яких потрібно максимально швидко розпізнавання аномалій на основі безперервного аналізу потоку даних, що надходить на вхід системи, на випередження і винесення гіпотез про наявність в ньому аномальних ТП.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Прогнозування є важливою областю дослідження в багатьох сферах. Прикладом є прогнозування сонячного затемнення за допомогою авторегресійної моделі [1]. Авторегресійні моделі застосовуються вже довгий час, зокрема, для таких випадків, як шумозаглушення і моделювання динамічних систем. В теперішній час для вирішення завдань прогнозування почали застосовуватися і більш складні алгоритми, як штучні нейронні мережі [2] або функціональна кластеризація [3]. В останні десятиліття увагу досліджень направлено на впровадження методів прогнозування в найбільш актуальні сфери діяльності [4]. В [5] представлений метод Байєсова прогно-

зування, який заснований на ієрархічних прихованих марковських моделях, у застосуванні до виявлення структурних стрибків у економіці. В [6] представлена динамічна модель генетичного програмування, описана стосовно індексу збільшення цін. В [7] наводиться порівняння методів прогнозування часових рядів для використання в сфері моніторингу стану здоров'я. Методи прогнозування стали популярними навіть в таких областях, як розрахунок очікуваного туристичного попиту [8]. При вирішенні таких завдань, як рекурсивне прогнозування, запропоновано використовувати метод опорних векторів [9]. Вельми перспективним напрямком досліджень вирішення завдання прогнозування стає створення гібридних методів, які об'єднують різноманітні методи моделювання часових рядів, де ефективність одного підходу компенсує слабкість іншого [10-12].

**Мета статті** полягає в розробці методу прогнозування особливих випадків в польоті на основі виявлення аномальних послідовностей в діагностичних даних технологічного обладнання повітряного судна; з метою підвищення безпеки польотів.

### Виклад основного матеріалу

Завдання пошуку аномалій представимо у вигляді завдання передбачення особливих випадків в польоті, на основі спостережень за значеннями інтегрального діагностичного параметру. Для таких завдань є характерними три особливі ознаки:

- корисна інформація про стан процесу надходить послідовними порціями;
- кожна нова порція даних, будучи передвісником потенційної аномалії, уточнює інформацію про можливість її появи, що міститься в попередніх даних;
- прийняття рішень має здійснювати в упереждувальному режимі, не чекаючи появи аномального події або моменту закінчення розвитку аномального ТП на вході класифікатору.

Вхідна тренувальна інформація надається у вигляді ТП – векторів спостережень за розвитком процесу  $X(t) = x(t_1), \dots, x(t_i), \dots, x(t_k), z$ , де  $x(t_i)$  – характеризує стан процесу в  $i$ -й момент часу,  $z$  – особливо виділене кінцеве значення "1" або "0", в якості результату, що характеризують факти приналежності вектору  $X(t)$  до класу нормальних або аномальних ТП.

Результатом роботи методу передбачення є отриманий на основі обчислень вектор передбачення  $P(X) = p(x(t_1)), \dots, p(x(t_i)), \dots, p(x(t_k))$ , елементи якого є оцінками результату  $z$ . Кожне із значень  $p(x(t_i))$  характеризує ймовірність того, що  $i$ -е значення ТП  $x(t_i)$  є передвісником аномального ТП. Вектор передбачення уточнюється при надходженні нової порції даних, в момент завершення надходження аномального ТП його елементи приймають максимальне значення.

В якості засобу обчислень вектору передбачення пропонується використовувати гібридну стохастичну модель (ГСМ), яка здатна адекватно представляти будь-які стохастичні процеси. ГСМ представляється четвіркою:  $ГСМ = \langle A, \|P\|, Q, \Pi \rangle$ , де  $A$  – множина станів;  $\|P\|$  – матриця перехідних ймовір-

ностей;  $Q = [q_1, q_2, \dots, q_s]$  – вектор початкового розподілу ймовірностей;  $\Pi$  – система уточнюючих продукційних темпоральних правил (ПТП) [13].

Враховуючи особливості задачі, що вирішується побудуємо вихідні матриці перехідних ймовірностей, окремо для нормальних та аномальних ТП за формулою:

$$P(a, b) = \frac{\text{Sup}(a, b)}{\text{Sup}(a)} \quad (1)$$

де  $\text{Sup}(p)$  – підтримка ТП  $p$  в  $X$ , дорівнює числу входжень ТП  $p$  в  $X$ .

Продукційні правила коректують значення перехідних ймовірностей вихідних матриць. Для всіх ТП, що не задовольняють умові (2) та підтримка яких більше встановленого порогу, формуються уточнюючі ПТП, що встановлюють для передкінцевих станів  $b$  ТП  $(a, \dots, b, c)$ , нові значення перехідних ймовірностей  $P(x | b) = P(x | a, \dots, b)$ , обчислені на основі формули (3)

$$\frac{\text{Sup}(b, c)}{\text{Sup}(b)} = \frac{\text{Sup}(a, \dots, b, c)}{\text{Sup}(a, \dots, b)} \quad (2)$$

$$P(c | a, \dots, b) = \frac{\text{Sup}(a, \dots, b, c)}{\text{Sup}(a, \dots, b)} \quad (3)$$

Ймовірність підтримки нормальних та аномальних ТП ГСМ обчислюється за формулою:

$$P_n \{p \in X\} = P_n(a, b) \cdot P_n(b, c) \cdot \dots \cdot P_n(d, e), \quad (4)$$

$$P_a \{p \in X\} = P_a(a, b) \cdot P_a(b, c) \cdot \dots \cdot P_a(d, e).$$

Детектування виробляється шляхом аналізу ЧР  $X$  ковзаючим вікном довжиною  $\delta$  – найдовшого з векторів спостережень за розвитком процесу, яке переміщується уздовж ЧР, займаючи послідовно  $N-\delta$  позицій. Кожна  $i$ -а позиція вікна аналізу "захоплює" фрагмент ЧР  $(x(i-\delta), x(i-\delta+1), \dots, x(i))$ , в межах якого виявляються всі  $\delta-1$  ТП, що завершуються символом  $x(i)$ . В процесі переміщення вікна аналізу для всіх знову і раніше виявлених ТП здійснюється перерахунок рівнів підтримки. Для кожного символу враховувалась ймовірність його участі у нормальних та аномальних ТП на всій довжині вікна. При досягненні достатнього рівня підтримки аномальною частиною ГСМ передбачається виникнення особливого випадку в польоті за рахунок виходу з ладу технологічного обладнання. Якщо тестова послідовність не отримала достатньої підтримки жодною частиною ГСМ, приймається рішення щодо уточнення моделі.

Оцінимо алгоритмічну складність вищенаведеної процедури. Аналіз ЧР  $X$  довжиною  $N$  ковзаючим вікном  $\delta$  здійснюється за  $N$  ітерацій, на кожній з яких виявляються  $\delta$  ТП і обчислюються їх рівні підтримки, що вимагає  $N \cdot C \cdot \delta$  кроків алгоритму, де  $C$  – константа, яка визначається числом операцій, необхідних для фіксації ТП і перерахунку його рівня підтримки. При переміщенні вікна аналізу загальне число виявлених ТП зростає, проте є обмеженим. Визначимо верхню межу для числа всіх потенційно

можливих ТП, що виявляються у ЧР Х, з рівнем підтримки, не меншим  $\omega$ . Для забезпечення даного рівня підтримки при довжині ЧР N ТП повинен зустрічатися в ЧР Х не менше ніж  $\omega \cdot N$  раз, отже, при загальній кількості всіх можливих ТП  $N \cdot \delta$  максимально можливе число ТП з порогом підтримки не меншим  $\omega$  буде не більшим ніж  $\delta/\omega$ . Таким чином, аналіз ЧР Х здійснюється за  $N \cdot \delta^2/\omega$  кроків, тобто має лінійну щодо N алгоритмічну складність  $O(N)$ .

На рис. 1 представлена схема методу передбачення особливих випадків в польоті на основі завчас-

ного виявлення аномальних послідовностей в діагностичних даних технологічного обладнання повітряного судна.

На рис. 2 представлені результати оцінки тестової послідовності довжиною 41 символ методом на основі завчасного виявлення аномальних послідовностей. Для побудови ГСМ використовувалась тренувальна послідовність з нормальних та аномальних ТП довжиною 8 символів. Рис. 2 наочно ілюструє рост значень вектору передбачення при надходженні аномального ТП з 13 по 21 символ.



Рис. 1. Структура методу передбачення особливих випадків в польоті на основі завчасного виявлення аномальних послідовностей в діагностичних даних технологічного обладнання повітряного судна

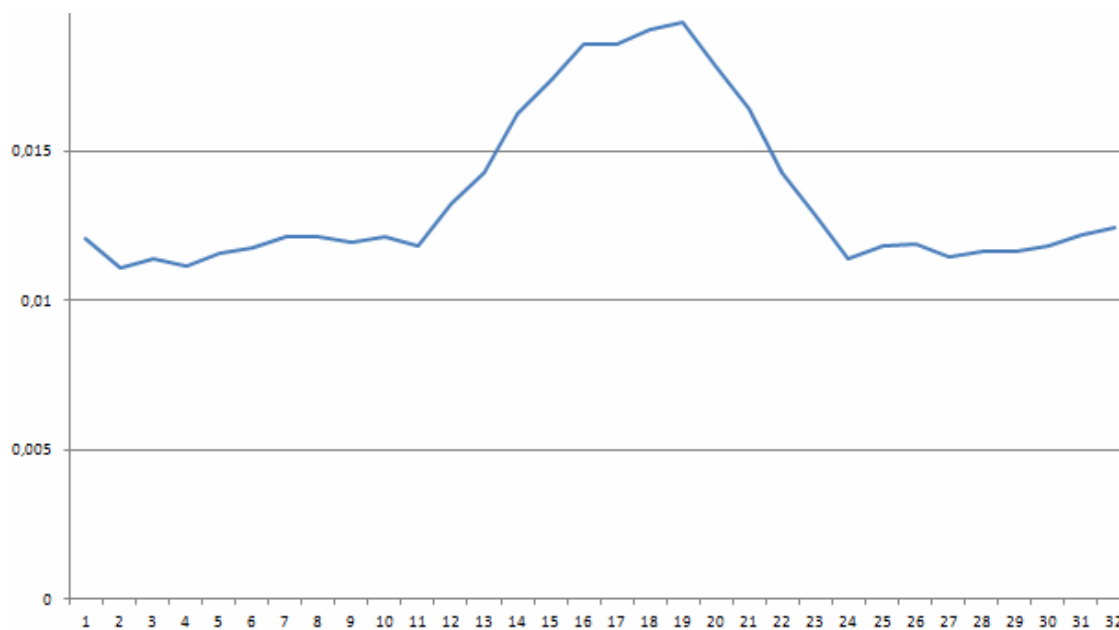


Рис. 2. Результати оцінки тестової послідовності довжиною 41 символ, пороговий рівень підтримки 0,015

### Висновки

У роботі запропоновано метод передбачення особливих випадків в польоті на основі завчасного виявлення аномальних послідовностей в діагностичних даних технологічного обладнання повітряного судна. Вхідна тренувальна інформація надається у вигляді векторів спостережень за розвитком процесу в яких особливо виділене кінцеве значення, в якості результату, що характеризують факти приналежності вектору до класу нормальних або аномальних темпоральних патернів. Для завчасного виявлення аномальних послідовностей пропонується використовувати

гібридну стохастичну модель, що використовує темпоральні правила для уточнення перехідних ймовірностей між станами процесу. Матриця перехідних ймовірностей, обчислюється окремо для нормальних та аномальних темпоральних патернів. Для кожної матриці перехідних ймовірностей використовуємо відповідні продукційні темпоральні правила.

Застосування запропонованого методу дозволить впровадити прогностичний принцип управління безпекою польотів, а також отримати економічний ефект від запобігання простою повітряного судна через раптової відмови обладнання.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Yule, G.U. On a method of investigating periodicities in disturbed series, with special reference to Wolfer's sunspot numbers / G. U. Yule // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character. – 1927. – pp. 267-298.
2. Koskela, T. Neural network methods in analyzing and modelling time varying processes / T. Koskela et al. – Helsinki University of Technology, 2003.
3. Sfetsos, A. Time series forecasting with a hybrid clustering scheme and pattern recognition / A. Sfetsos, C. Siriopoulos // Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on. – 2004. – Vol. 34, № 3. – pp. 399-405.
4. Esling, P. Time-series data mining / P. Esling, C. Agon // ACM Comp. Surveys (CSUR). – 2012. – Vol. 45, № 1. – pp. 12.
5. Pesaran, M. H. Forecasting time series subject to multiple structural breaks / M. H. Pesaran, D. Pettenuzzo, A. Timmermann // The Review of Economic Studies. – 2006. – Vol. 73, № 4. – pp. 1057-1084.
6. Wagner, N. Time series forecasting for dynamic environments: the DyFor genetic program model / N. Wagner et al. // IEEE Transactions on Evolutionary Computation – 2007. – Vol. 11, № 4. – pp. 433-452.
7. Burkom, H. S. Automated time series forecasting for biosurveillance / H. S. Burkom, S. P. Murphy, G. Shmueli // Statistics in medicine. – 2007. – Vol. 26, № 22. – pp. 4202-4218.
8. Song, H. Tourism demand modelling and forecasting – A review of recent research / H. Song, G. Li // Tourism Management. – 2008. – Vol. 29, № 2. – pp. 203-220.
9. Herrera, L. J. Recursive prediction for long term time series forecasting using advanced models / L. J. Herrera et al. // Neurocomputing. – 2007. – Vol. 70, № 16. – pp. 2870-2880.
10. Patcha, A. An overview of anomaly detection techniques: Existing solutions and latest technological trends / A. Patcha, J.M. Park // Computer Networks. – 2007. – Vol. 51, № 12. – pp. 3448-3470.
11. Sorjamaa, A. Methodology for long-term prediction of time series / A. Sorjamaa et al. // Neurocomputing. – 2007. – Vol. 70, № 16. – pp. 2861-2869.
12. Averkin, A. Time series forecasting based on hybrid neural networks and multiple regression / A. Averkin, S. Yarushev, I. Dolgy, A. Sukhanov // Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ИТІ 16): Volume 1. – 2016. – pp. 111-121.
13. Гибридная стохастическая модель обнаружения особых типов паттернов в темпоральных данных / С.М. Ковалев, А.Н. Гуда, М.А. Бутакова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2013. – №3(51). – С. 36-42.

Received (Надійшла) 28.05.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.08.2020

### Method for predicting special cases in flight based on early detection of anomalous sequences in the diagnostic data of aircraft technological equipment

I. Padalka, O. Dmytriiev, D. Parkhomenko, O. Meleshko

**Abstract.** Modern onboard digital systems for automatic control, monitoring and diagnostics allow measuring a large number of parameters of aircraft technological equipment and receiving arrays of such information in digital form. Prediction of special cases in flight is the main task of parametric diagnostics of aircraft technological equipment. However, the existing diagnostic models based on the corresponding mathematical models do not fully use the diagnostic data arrays and do not always allow predicting the occurrence of technological equipment failures. This makes the task of predicting special cases in flight relevant. **The purpose of the article** is to develop a method for predicting special cases in flight based on the detection of abnormal sequences in the diagnostic data of the technological equipment of the aircraft; in order to increase flight safety. **Results of the research.** The paper proposes a method for predicting special cases in flight based on the early detection of anomalous sequences in the diagnostic data of the aircraft technological equipment. For the early detection of abnormal sequences, it is proposed to use a hybrid stochastic model and a method for detecting abnormal sequences in the diagnostic data of aircraft technological equipment. The input training information is provided in the form of vectors of observations of the development of the process in which the final value is especially highlighted, as a result, characterizing the facts of belonging of the vector to the class of normal or abnormal temporal patterns. **Conclusion.** The application of the proposed method will allow to implement the prognostic principle of flight safety management, as well as to obtain the economic effect of preventing aircraft downtime due to sudden equipment failure.

**Keywords:** flight safety, special cases in flight, parametric diagnostics, forecasting, anomalous sequence, time series, temporal pattern, hybrid stochastic model.



В. Б. Кононов, Ю. І. Рафальський, О. О. Дехніч

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ВІЛЬНО ПАДАЮЧИХ ТІЛ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є залежності параметрів руху вільно падаючих тіл. Метою статті є дослідження методики визначення параметрів руху вільно падаючих тіл з використанням цифрових засобів вимірювання, в якості яких виступають цифрові відеокамери, впровадження яких дозволяє суттєво скоротити час на проведення обробки результатів випробувань. **Задача, що вирішується** – за допомогою визначених засобів реєстрації, вимог до проведення відео зйомки, визначених похибок координат об'єкту, допустимих значень відхилення площини дійсного шляху об'єкту від площини наземних орієнтирів, визначення вертикальної швидкості зниження обгрунтувати технічні рішення, впровадження яких в практику вимірювання дозволять регламентувати порядок розрахунку вертикальної швидкості зниження та швидкості горизонтального пересування на приземній ділянці траєкторії при проведенні стрибків (скидань) з парашутами з використанням цифрових засобів відео зйомки. **Результати.** Розроблена методика складається із визначення вимог щодо засобів реєстрації та їх характеристик; вимог до проведення відео зйомки; визначення похибки координат об'єкту за допомогою відеокамери, що складається з похибок, які вносяться у вимірювання під час зйомки та дешифрування; оцінки допустимих значень відхилення площини дійсного шляху об'єкту від площини наземних орієнтирів; визначення обчислення вертикальної швидкості зниження. **Висновки.** Методика регламентує порядок розрахунку вертикальної швидкості зниження та швидкості горизонтального пересування на приземній ділянці траєкторії при проведенні стрибків (скидань) з парашутами з використанням цифрових засобів відео зйомки. Запропоновані технічні рішення, що отримані при експериментальному дослідженні методики визначення параметрів руху вільно падаючих тіл з використанням цифрових засобів вимірювання надає можливість обирати найбільш корисну парашутну систему щодо використанні її за призначенням.

**Ключові слова:** параметрів руху вільно падаючих тіл, засоби реєстрації, вертикальної швидкості зниження.

### Вступ

**Постановка задачі.** Правильне і глибоке розуміння суті методів вимірювань дозволяє організувати процес вимірювання так, щоб якнайкраще забезпечити виконання дуже суперечливих вимог щодо точності, часових і апаратних витрат. Незважаючи на чисельність методів вимірювань, можна виділити властиві їм спільні ознаки, за якими вимірювання розділяють на характерні різновиди. До найбільш поширених належать такі ознаки: фізична природа вимірюваних величин, функціональна залежність між шуканою і безпосередньо вимірюваною величинами, характер змінювання вимірюваної величини в часі, спосіб подання результату вимірювання, наявність попереднього (проміжного) вимірювального перетворення, кількість вимірювань у серії, характеристика точності, призначення вимірювань. Одним із питань процесу вимірювання є методика визначення параметрів руху вільно падаючих тіл з використанням цифрових засобів вимірювання, в якості яких виступають цифрові відеокамери, впровадження яких дозволяє суттєво скоротити час на проведення обробки результатів випробувань, що й підкреслює актуальність цієї науково-прикладної задачі.

**Аналіз літератури.** Принципи й організаційні основи метрологічного забезпечення, а також роль й місце метрологічного забезпечення Збройних Сил України, викладено в статтях [1, 2] та спеціальній літературі [3-7]. Математичні моделі визначення

кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості викладено в статті [1]. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів вимірювальної техніки військового призначення викладено в статті [2]. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення ООС викладені в літературі [3-5].

Нажаль в джерелах [1-7] питання, які пов'язані з визначення параметрів руху вільно падаючих тіл з використанням цифрових засобів вимірювання, не розглядалися.

**Метою статті** є дослідження методики визначення параметрів руху вільно падаючих тіл з використанням цифрових засобів вимірювання, в якості яких виступають цифрові відеокамери, впровадження яких дозволяє суттєво скоротити час на проведення обробки результатів випробувань.

### 1. Вимоги до відеозйомки

Існуюча нормативно-методична документація регламентує порядок визначення параметрів руху вільнопадаючих тіл за результатами кінозйомки і не розглядає питань, які пов'язані з використанням сучасної цифрової техніки.

Призначенням методики є доповнення існуючої нормативно-методичної документації визначення параметрів руху вільно падаючих тіл в частині використання цифрових засобів реєстрації.



Дана методика регламентує порядок розрахунку вертикальної швидкості зниження та швидкості горизонтального пересування на приземній ділянці траєкторії при проведенні стрибків (скидань) з парашутами з використанням цифрових засобів відеозйомки.

Перш за все проведемо дослідження вимог щодо засобів реєстрації. В якості оптичних засобів реєстрації використовуються цифрові відеокамери формату Mini-DV. Відеокамера повинна мати стандартний набір функцій:

- режими фокусування: автоматичний, ручний, блокування авто фокусування;
- система виміру експозиції: точкова, центральновзважена оцінна;
- управління експозицією: автоматичний пріоритет діафрагми, автоматичний пріоритет витримки, автоматична, блокування автоекспозиції;
- інтерфейси: IEEE 1394, USB 2.0, S-Video, відео-аудіо вихід / вхід;
- носії інформації: 8 – ми міліметрова відеокасети або HDD.

Мають бути забезпечені характеристики (не гірше): масштабування відео зображення: оптичне збільшення / разом із цифровим збільшенням – 10x / 700x; розмір ПЗС матриці від 1,2 мегапікселей, що дозволяє одержувати відеофільми натурального розміру від 720x576 точок розрізняючою здатністю 72-96 точок на дюйм; частота зйомки 25 кадрів у секунду; прописування відносного і абсолютного часу зйомки до структури кадру; можливість синхронізувати час зйомки від зовнішнього пристрою. На відеокамері має бути роз'єм для встановлення її на штатив.

Наступним кроком є дослідження вимог до проведення відеозйомки:

1) місце встановлення відеокамери повинне бути обрано таким чином, щоб забезпечувалась зйомка усього процесу з моменту відділення від літака до моменту приземлення. Відеозйомка повинна проводитись із штатива, встановленого на відстані від 50 до 300 метрів від проекції курсу літака на площадку приземлення;

2) встановлення засобів реєстрації повинно бути здійснено за допомогою нівеліровочних засобів на штативі;

3) при зніманні приземної ділянки траєкторії, з метою подальшого визначення вертикальної та горизонтальної складової швидкості, засоби реєстрації повинні бути зафіксовані у горизонтальній та вертикальній площині;

4) зйомка повинна починатись за декілька секунд до відділення від літального апарату парашутиста (манекена, вантажу та ін.) і закінчуватись через декілька секунд після приземлення;

5) при зйомці парашутів з манекенами, або при скиданні платформ, відеокамера повинна бути встановлена з навітряного боку відносно курсу літального апарату; встановлення оператора з навітряного боку знижує погрішність вимірювань (рис. 12);

6) якщо дозволяють умови, необхідно встановити на місцевості орієнтири, наприклад, щити або віхи з визначеними геометричними характеристика-

ми: висота, довжина, відстань між ними;

7) парашутист повинен бути вдягнутий у контрастний костюм, який дозволяє легко його ідентифікувати на фоні неба та місцевості, на платформі (вантажу) повинна бути нанесена смуга із біло-чорних (жовто-чорних) квадратів;

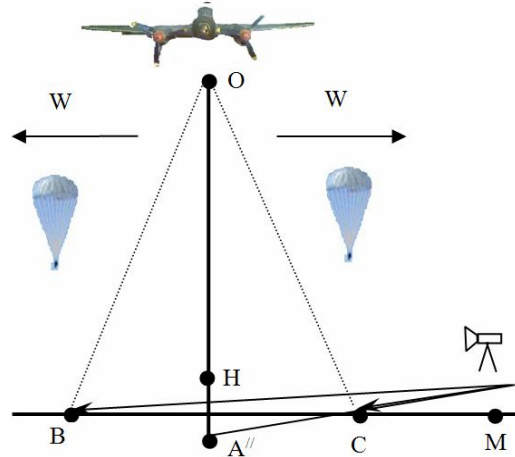


Рис. 1 Визначення впливу напрямку вітру і встановлення відеокамери на точність результатів вимірювання

8) перед проведенням залікових стрибків (скидань) виконується попередній стрибок для перевірки працездатності обладнання та врахування місцевих особливостей.

Типова схема обладнання місця приземлення наведена на рис. 2.

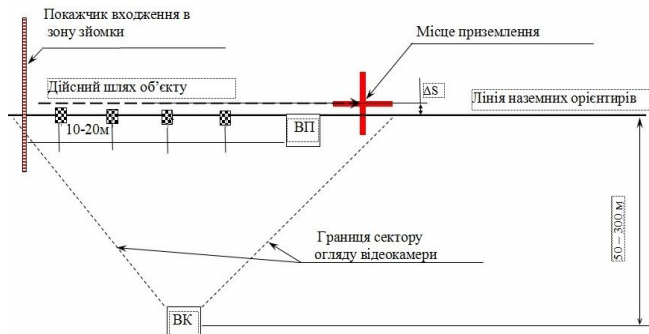


Рис. 2. Типова схема обладнання місця приземлення.

Похибка при визначенні координат об'єкту за допомогою відеокамери складається з похибок, які вносяться у вимірювання під час зйомки та дешифрування: від непаралельності площини явища що знімається і площини зображення на кадрі; суб'єктивних помилок у визначенні лінійних розмірів зображень при дешифруванні.

## 2. Визначення параметрів руху

Розглянемо методику оцінки допустимих значень відхилення площини дійсного шляху об'єкту від площини наземних орієнтирів.

Припустимо що відеокамера з фокусною відстанню  $F$  встановлена на віддаленні  $S$  від лінії орієнтирів, а об'єкт з лінійним розміром  $L$  під час зйомки літів з курсом, який складе з лінією наземних орієнтирів кут  $\alpha$ . В цьому випадку розрахунковий

масштаб зображення на плівці, визначений з припущення паралельності площини явища що знімається і площини зображення:

$$M_p = F/S \quad (1)$$

Дійсний масштаб зображення буде різним у різних частинах кадру. Визначимо масштаб зображення для такого моменту зйомки, якщо об'єкт знаходиться у положення АВ:

$$M_1 = CB/BC. \quad (2)$$

У трикутнику ОВС згідно теоремі синусів справедливі співвідношення:

$$\frac{OC}{\sin(90 - (\beta \pm \alpha))} = \frac{BC}{\sin(90 + \alpha)}, \quad (3)$$

що крізь тригонометричні функції гострих кутів запишеться як:

$$\frac{OC}{\cos(\beta \pm \alpha)} = \frac{BC}{\cos \alpha}, \quad (4)$$

В запропонованих співвідношеннях верхній знак (плюс або мінус) відповідає випадку коли об'єкт знаходиться за лінією орієнтирів, нижній – випадку знаходження об'єкту перед лінією орієнтирів. Звідки може бути отримане значення BC (нагадаємо, що  $OC=S$ ):

$$BC = \frac{S \cos \alpha}{\cos(\beta \pm \alpha)}. \quad (5)$$

У трикутнику ОВС:

$$CB = F/\cos \beta. \quad (6)$$

Підставивши значення  $cb$  и  $BC$  у співвідношення для дійсного масштабу зображення, маємо:

$$M^1 = \frac{F \cos(\beta \pm \alpha)}{S \cos \beta \cos \alpha} = \frac{F}{S} \frac{\cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta}{\cos \beta \cos \alpha}, \quad (7)$$

або кінцеву:

$$M^1 = (F/S) \cdot (1 \mp \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta). \quad (8)$$

Згідно з (8), дійсний масштаб зображення відрізняється від розрахованого множителем  $(1 \mp \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta)$ , який залежить від ступеня непаралельності площини явища що знімається і площини кадру (кут  $\alpha$ ) і від положення об'єкту відносно оптичної осі об'єкту (кут  $\beta$ ). Так як величина кута  $\beta$  не може бути більш ніж половина кута зору об'єктиву відеокамери, то для кожного об'єктива по його фокусній відстані може бути визначено значення кута  $\alpha$ , при якому скривлення масштабу не будуть перевищувати наперед задане значення.

Дані розрахунків для поширених значень фокусних відстаней об'єктивів при яких викривлення складають 5% ( $\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta < 0,05$ ) приведені у табл. 1.

Відхилення вертикальної площини шляху об'єкту ( $\Delta S$ ) від площини наземних орієнтирів, при яких викривлення масштабу не перевищує 5%:

$$\Delta S = 0,05 \cdot H/\operatorname{tg}(\beta), \quad (9)$$

де  $H$  – висота об'єкту, м;  $\beta$  – половина кута зору об'єктиву.

Таблиця 1 – Дані розрахунків для поширених значень фокусних відстаней об'єктивів при яких викривлення складають 5% ( $\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta < 0,05$ )

Фокусна відстань об'єктиву, мм	35	50	75	100	250
Половина кута зору об'єктиву $\beta$ , град (по горизонталі)	17 <sup>0</sup> 27'	12 <sup>0</sup> 25'	8 <sup>0</sup> 03'	6 <sup>0</sup> 17'	2 <sup>0</sup> 30'
Кут відхилення $\alpha$ , град	9 <sup>0</sup> 2''	13 <sup>0</sup> 5''	19 <sup>0</sup> 39''	25 <sup>0</sup> 12''	48 <sup>0</sup> 52''

Результати розрахунків для поширених значень фокусних відстаней об'єктивів приведені у табл. 2 (висота об'єкту  $H=100$  м).

Таблиця 2 – Результати розрахунків для поширених значень фокусних відстаней об'єктивів

Фокусна відстань об'єктиву, мм	35	50	75	100	250
Бокове відхилення $\Delta S$ , метри	17,7	23,6	35,6	46,0	114,0

Розглянемо методику визначення обчислення вертикальної швидкості зниження. Методика складається із обчислення вертикальної швидкості зниження та методика визначення горизонтальної швидкості пересування, статистичної обробки результатів, приведення вертикальної швидкості зниження до стандартних умов.

Обчислення вертикальної складової швидкості зниження виконується у такому порядку:

1. Визначається розмір (у пікселях) характерних деталей зображення на кадрі. Наприклад, довжина стропи, яка в натуральному виді наперед виміряна. Тоді довжина зображення об'єкту на кадрі:

$$l = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}, \quad (9)$$

де  $(x_1, y_1)$  – координати початку зображення об'єкту;  $(x_2, y_2)$  – координати кінця зображення об'єкту.

2. Визначається масштаб зображення об'єкту:

$$M = L/l, \quad (10)$$

де  $L$  – фактична довжина об'єкту.

3. По масштабах, визначених для кадрів  $n_1$  та  $n_2$ , обчислюється середній масштаб зображення:

$$M_{cp} = (M_{n_1} + M_{n_2})/2. \quad (11)$$

де  $n_1$  – номер (назва) кадру, який обробляється;  $n_2$  – номер наступного кадру, який підлягає обробці.

4. Визначається можливий зсув камери у вертикальній площині:

$$h_{zc} = y_{0n_1} - y_{0n_2}, \quad (12)$$

де  $y_{0n_1}$  та  $y_{0n_2}$  – ординати положення наземного орієнтиру відповідно на кадрах  $n_1$  та  $n_2$ .

5. Визначається різниця висот об'єкту на кадрах  $n_1$  та  $n_2$ :

$$h = y_{cn_1} - y_{cn_2} + h_{zc} \quad (13)$$

де  $y_{cn_1}$  та  $y_{cn_2}$  – ординати центру мас об'єкту відповідно на кадрах  $n_1$  та  $n_2$ .

6. Визначається інтервал часу між кадрами  $n_1$  та  $n_2$ :

$$\Delta t = N/f, \quad (14)$$

де  $N$  – кількість кадрів за аналізований період,  $N = n_2 - n_1$ ;  $f$  – частота зйомки, кадр/сек.

7. Визначається вертикальна швидкість зниження:

$$V_{zn} = M_{cp} \cdot h/\Delta t. \quad (15)$$

Аналогічно визначаємо горизонтальну складову швидкості пересування.

Для висновку про відповідність парашуту, який проходить випробування, вимогам, результати розрахунків та вимірювань обробляються за допомогою методів математичної статистики.

### Висновки

1. В статті досліджено методику визначення параметрів руху вільно падаючих тіл з використанням цифрових засобів вимірювання, в якості яких обрано цифрові відеокамери.

2. Призначенням методики є доповнення існуючої нормативно-методичної документації визначення параметрів руху вільно падаючих тіл в части-

ні використання цифрових засобів реєстрації.

3. Досліджена методика регламентує порядок розрахунку вертикальної швидкості зниження та швидкості горизонтального пересування на приземній ділянці траєкторії при проведенні стрибків (скидань) з парашутами з використанням цифрових засобів відео зйомки.

4. Досліджена методика складається із визначення вимог щодо засобів реєстрації та їх характеристик; вимог до проведення відео зйомки; визначення похибки координат об'єкту за допомогою відеокамери, що складається з похибок, які вносяться у вимірювання під час зйомки та дешифрування; оцінки допустимих значень відхилення площини дійсного шляху об'єкту від площини наземних орієнтирів; визначення обчислення вертикальної швидкості зниження.

5. За допомогою дослідженої методики визначення параметрів руху вільно падаючих тіл з використанням цифрових засобів вимірювання доцільно обирати найбільш корисну парашутну систему щодо використанні її за призначенням.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кононов В.Б., Бурцева В.В. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості Системи обробки інформації: зб. наук. пр. ХНУПС. – Вип.1 (147). – Харків, 2017. – С. 88–92.
2. Кононов В.Б. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів вимірювальної техніки військового призначення // *Авиационно-космическая техника и технология*. – Харків: НАУ ХАИ—2011.-№ 8 (85) -С.231 – 234.
3. Кононов В.Б., Науменко А.М., Водолажко О.В., Коваль О.В., Кондрашова І.І. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО.- Харків: ХНУПС, 2017. – С. 288.
4. Кононов В.Б. Застосування електричних вимірювань засобами вимірювальної техніки в умовах проведення АТО: навч. посіб./ В.Б. Кононов, А.М. Науменко, О.В. Коваль та ін.. – Х.:ХНУПС, 2018. – 392 с.
5. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
6. Організація застосування пересувних засобів метрологічного обслуговування: навч. посіб. / І.Б. Кузнецов, О.В. Ярошенко. – К. : НУОУ, 2009. – 356 с.
7. Кузнецов І. Б., Марценківський В. Т., Ярошенко О. В., Буяло О. В., Проценко В. О. Удосконалення парку пересувних лабораторій вимірювальної техніки як фактор підвищення оперативності та ефективності метрологічного обслуговування складних систем // *Збірник наукових праць КНУ*. Вип. 32. – К. : ВІКНУ, 2011. – С. 33–46.

Received (Надійшла) 11.03.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.07.2020

### The study of methods for determining motion parameters freely falling objects using digital measuring instruments

V. Kononov, Yu. Rafalskij, O. Dehnich

**Abstract.** The subject of the study of the article is the dependence of the time of movement of free falling objects. The purpose of the article is study of the methodology for determining the parameters of the movement of free falling objects using digital measuring instruments in which quality digital video cameras. The introduction of which will make it possible do it in short time for process and test results. **The problem to be solved** is with the help of certain means of registration requirements for conducting of certain object's coordinates of the allowable values of deviations of the area of the actual path of the object from the area of landmarks, determination of the vertical rate of decline justification of technical solutions, the introduction of which into the practice of measurement will allow regulating the procedure for calculating the vertical rate of decline, and also the speed of horizontal movement on the surface of the trajectory during jumps (dropping) with parachute using digital video shooting. **Results.** The developed methodology consists of determining the requirements for means of registration and their characteristics; requirements for video recording; Determining the error of the coordinates of the object using a video camera, which consists of errors that are introduced into the measurement during shooting and decoding; estimates of permissible values of deviation of the plane of the actual path of the object from the plane of landmarks; determining the calculation of the vertical rate of decline. **Conclusions.** The method regulates the procedure for calculating the vertical rate of descent and the speed of horizontal movement on the ground section of the trajectory when performing jumps (dumps) with parachutes using digital means of video recording. The proposed technical solutions obtained from the experimental study of the methodology for determining the motion parameters of freely falling objects using digital measurements tools make it possible of verify the most appropriate parachute system for its intended use.

**Keywords:** parameters of falling objects of registrations vertical descent rate.

Л. І. Леві

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

## ГЕНЕТИЧНІ АЛГОРИТМИ ОПТИМІЗАЦІЇ В ЗАДАЧАХ КЕРУВАННЯ ЗРОШУВАЛЬНИМИ СИСТЕМАМИ

**Анотація.** На сьогодні спостерігається тенденція збільшення складності математичних і формальних моделей реальних систем і процесів управління. Це пов'язано з необхідністю підвищення адекватності цих моделей та врахування якомога більшої кількості факторів, які впливають на процеси прийняття рішень. Традиційні методи побудови моделей не приводять до задовільних результатів, коли описання проблеми, що підлягає вирішенню, з самого початку є неточним і неповним. Прагнення отримати всю вичерпну інформацію для побудови точної математичної моделі скільки-небудь складної реальної ситуації може привести лише до втрати часу та коштів, оскільки це може бути в принципі неможливо. До недавнього часу при проектуванні і дослідженні систем автоматизованого управління і систем інтелектуальної підтримки процесів підготовки і прийняття рішень використовувалися два великі класи математичних моделей і методів: один з них представлений детермінованими, а другий ймовірними моделями. Сьогодні відбувається бурхливий розвиток і все більш широке застосування в різних областях третього, абсолютно нового класу моделей і методів, заснованих на принципах теорії нечітких множин. Набув розвитку такий новий напрямок, як м'які обчислення, за допомогою яких стало можливим оптимізувати нечіткі моделі. Використання методів оптимізації дозволило будувати адекватні моделі процесів і систем навіть при достатньо грубій початковій нечіткій моделі. Однак у системах, заснованих на нечіткому підході, особливо при великій кількості змінних, практично неможливо врахувати синергізм, що може виникати при сумісній появі деяких конкретних значень окремих змінних, та неможливо забезпечити облік відмінностей у важливості факторів, що впливають на прийняття рішення. Зокрема в даній роботі генетичні алгоритми використано як оптимізаційні методи, що дозволяють мінімізувати відстань між бажаним та модельним результатом логічного висновку. На основі генетичних алгоритмів навчання нечітких регресійних моделей розроблено інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень при діагностуванні параметрів режимів зрошення. Таку систему впроваджено у процес визначення строків та норм поливу при зрошенні овочевих культур сімейства пасльонових. Розроблена система підтримки прийняття рішень дозволяє в залежності від вибору режиму зрошення визначати потребу рослин у воді і або отримувати високі врожаї на фоні раціонального використання води, або заощаджувати водні ресурси при певних втратах врожаю, що з економічної точки зору є доцільним в порівнянні з витратами на подачу додаткових об'ємів поливної води для досягнення максимальних врожаїв.

**Ключові слова:** генетичні алгоритми, оптимізаційні методи, функція відповідності, хромосома, рекомбінація генів, мутація, схрещування, селекція хромосом.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На сьогодні спостерігається тенденція збільшення складності математичних і формальних моделей реальних систем і процесів управління. Це пов'язано з необхідністю підвищення адекватності цих моделей та врахування якомога більшої кількості факторів, які впливають на процеси прийняття рішень. Традиційні методи побудови моделей не приводять до задовільних результатів, коли описання проблеми, що підлягає вирішенню, з самого початку є неточним і неповним. Прагнення отримати всю вичерпну інформацію для побудови точної математичної моделі скільки-небудь складної реальної ситуації може привести лише до втрати часу та коштів, оскільки це може бути в принципі неможливо.

До недавнього часу при проектуванні і дослідженні систем автоматизованого управління і систем інтелектуальної підтримки процесів підготовки і прийняття рішень використовувалися два великі класи математичних моделей і методів: один з них представлений детермінованими, а другий ймовірними моделями. Сьогодні відбувається бурхливий розвиток і все більш широке застосування в різних областях третього, абсолютно нового класу моделей і методів, заснованих на принципах теорії нечітких множин.

Набув розвитку такий новий напрямок, як м'які обчислення, за допомогою яких стало можливим оптимізувати нечіткі моделі. Використання методів

оптимізації дозволило будувати адекватні моделі процесів і систем навіть при достатньо грубій початковій нечіткій моделі.

Однак у системах, заснованих на нечіткому підході, особливо при великій кількості змінних, практично неможливо врахувати синергізм, що може виникати при сумісній появі деяких конкретних значень окремих змінних, та неможливо забезпечити облік відмінностей у важливості факторів, що впливають на прийняття рішення. Зокрема в даній роботі генетичні алгоритми (ГА) використано як оптимізаційні методи, що дозволяють мінімізувати відстань між бажаним та модельним результатом логічного висновку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для реалізації ГА необхідний випадковий набір варіантів розв'язків, який називають популяцією. Варіант розв'язку, що входить до популяції, у закодованому вигляді називається хромосомою, яка визначає певне рішення оптимізаційної задачі в першому наближенні. Хромосома формується як послідовність символів певної природи – генів [1].

ГА складається із певного числа ітерацій, і кожна наступна популяція генетичного алгоритму називається поколінням (або генерацією). Аналогічно природній еволюції в результаті певної кількості ітерацій відбувається також і еволюція хромосом з початкової популяції. Для оцінювання ступеня пристосованості хромосом у популяції використовується функція відповідності (англ. Fitness function), при цьому селекція відбувається шляхом вибору хромо-



соми з найбільшою мірою пристосованості. Наступне нове покоління формується в результаті рекомбінації генів за рахунок схрещування (англ. Crossover) двох хромосом-батьків з поточної популяції, або в результаті мутації, що відбувається шляхом випадкової зміни елементів однієї хромосоми. Після застосування генетичних операторів схрещування та мутації відбувається селекція хромосом за функцією відповідності.

Через декілька епох за допомогою ГА відбирається хромосома з найбільшою функцією відповідності. Така хромосома відповідає оптимальному, або близькому до оптимального розв'язку.

Для покоління  $t$  популяція індивідумів позначається через  $P(t)$ , а набір нащадків, що були отримані із поточної популяції, – через  $C(t)$ . З введеними позначеннями загальна структура ГА має вигляд [2], наведений на рис. 1.

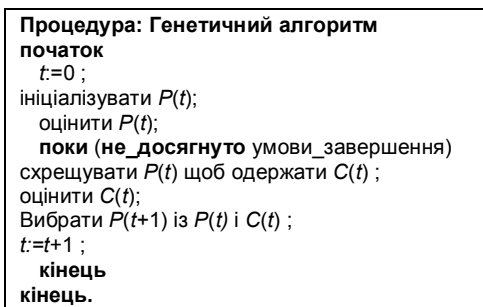


Рис. 1. Загальна структура ГА

Основні операції генетичних алгоритмів полягають у наступному. На першому етапі схрещування хромосоми із популяції батьків об'єднуються у пари випадковим чином з ймовірністю  $p_c$ . Далі встановлюється позиція гена у хромосомі, що визначає точку схрещування (англ. Cut-point). В результаті схрещування хромосом-батьків створюються хромосоми-нащадки шляхом комбінування сегментів першого і другого батьків відносно точки схрещування.

Ймовірність  $p_c$  визначає відсоток нащадків, що створюються на кожній ітерації, і називається коефіцієнтом схрещування. Таким чином, кількість

хромосом-нащадків в результаті схрещування визначається як добуток  $p_c$  на кількість хромосом в популяції. Збільшення коефіцієнта  $p_c$ , розширює пошуковий простір, але може привести до витрати часу на дослідження безперспективних областей.

В результаті мутації хромосоми відбувається певним чином випадкова зміна гена з ймовірністю  $p_m$ . При цьому для кожного гена хромосоми визначається випадкове число, що визначає ті з генів, для яких відбудеться мутація. Операція мутації в генетичних алгоритмах визначається необхідністю відновлення генів, що були вилучені з популяції в ході операції відбору, і які тепер можуть бути досліджені в новому контексті, та можливістю утворення генів, які не були представлені в початковій популяції [1].

Ймовірність  $p_m$  визначає відсоток генів, що зазнають мутації на поточній ітерації, і називається коефіцієнтом мутації. При цьому невелика інтенсивність мутацій може привести до втрати корисних варіантів, які не зможуть бути розглянуті, а при зростанні значення  $p_m$  генетичний алгоритм втрачить можливість навчання.

**Метою статті** є застосування ГА для навчання нечітких моделей діагностування поливів.

### 1. Навчання нечіткої моделі

Для навчання нечіткої моделі генетичними алгоритмами хромосому, що відповідає початковому рішенню, визначимо як вектор параметрів  $B, C$  функцій належностей таким чином:

$$S = (B, C) = \left( \begin{array}{cccccccc} b_{11}, c_{11}, \dots, b_{i1}, c_{i1}, \dots, b_{il_i}, c_{il_i}, \dots \\ \dots, b_{191}, c_{191}, b_{192}, c_{192}, b_{193}, c_{193} \end{array} \right), \quad (1)$$

де  $l_i$  – кількість термів-оцінок вхідної змінної  $x_i$ ,  $l_1 + l_2 + \dots + l_{19} = 77$ ,  $i = \overline{1, 19}$ .

При абсолютній достовірності нечіткої бази знань поведінка нечіткої моделі цілком залежить від параметрів вектора  $S$ . Тому для настроювання нечіткої моделі вектор  $S$  можна розглядати, як закодований розв'язок оптимізаційної задачі у вигляді хромосоми, що зображена на рис. 1.

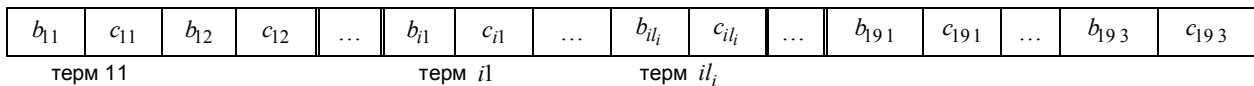


Рис. 1. Хромосома нечіткої моделі

Для здійснення генетичного алгоритму необхідно спочатку закодувати початковий розв'язок задачі у певній кількості хромосом-батьків. Ініціалізація популяції відбувається шляхом формування початкової популяції випадковим набором варіантів розв'язків у вигляді хромосоми, що складається з параметрів функцій належності.

Визначення генів хромосом відбувається випадковим чином за такими формулами [1]:

$$b_i^0 = RANDOM \left( \left[ \underline{x_i}, \overline{x_i} \right] \right), \quad (2)$$

$$c_i^0 = RANDOM \left( \left[ \underline{c_i}, \overline{c_i} \right] \right), \quad (3)$$

де  $RANDOM \left( \left[ \underline{a}, \overline{a} \right] \right)$  – операція знаходження рівномірно розподіленого на інтервалі  $\left[ \underline{a}, \overline{a} \right]$  випадкового числа,  $\left[ \underline{x_i}, \overline{x_i} \right]$  – універсальна множина змінної  $x_i$ ,  $\left[ \underline{c_i}, \overline{c_i} \right]$  – діапазон значень коефіцієнта розтягування функції належності змінної  $x_i$ .

Для оцінювання пристосованості хромосоми у популяції використовується функція відповідності  $FF(S)$  (від англ. Fitness function), що визначає найкращу на даній ітерації хромосому для проведення операції схрещування.

Для нечітких моделей  $\mu^{dj}(y) = \mu^{dj}(X, B, C)$  об'єктів з дискретним виходом функція відповідності хромосоми  $S$  (1), буде мати такий вигляд [1]:

$$FF(S) = - \sum_{l=1}^{304} \left[ \sum_{j=1}^9 \left[ \mu^{dj}(X^l, B, C, W) - \mu^{dj}(X^l) \right]^2 \right] \quad (4)$$

У теорії генетичних обчислень вважається, що функція відповідності збільшується із зростанням якості хромосоми, тому для збереження звичайного розуміння функції відповідності у виразі (4) введений знак «мінус».

Селекція хромосом необхідна для визначення із популяції поточної епохи генетичного алгоритму тих пар батьків, що більш пристосовані до схрещування.

При цьому схрещування повинно здійснюватися для хромосом з найбільшим значенням функції відповідності, а не випадковим чином. Тому, вибір батьків відбувається в залежності від ймовірності, що розраховується за формулою [1]:

$$p_i = FF'(S_i) / \sum_{j=1}^K FF'(S_j), \quad (5)$$

де  $FF'(S_i) = FF(S_i) - \min_{j=1, K} |FF(S_j)|$ ,

тобто для кожної хромосоми  $S_i$  з популяції визначається ймовірність  $p_i$ , що відповідає умовам:

$$p_i \geq 0, \sum_{i=1}^K p_i = 1, FF(S_i) > FF(S_j) \Rightarrow p_i > p_j,$$

де  $K$  – розмір поточної популяції. Таким чином, чим більше значення ймовірності, тим більше шансів у хромосоми бути вибраною для схрещування.

Для вибору хромосом, що підлягають схрещуванню, застосовується наступний алгоритм [1].

1. Для кожної хромосоми визначити інтервали довжиною  $p_i$  та послідовно розмістити їх на горизонтальній осі.

2. Провести розіграш, що зводиться до знаходження випадкового числа  $z$  з рівномірним законом розподілу на інтервалі  $[0, 1]$ .

3. Відібрати батьківську хромосому  $S_i$ , що має підінтервал  $p_i$ , в який потрапляє число  $z$ . Тобто шанси бути обраною у хромосоми зростають зі збільшенням ймовірності  $p_i$ .

4. Для вибору другої батьківської хромосоми провести дії відповідно п.п. 1 - 3.

Операція схрещування двох хромосом-батьків відбувається відносно 19 точок обміну, що відповідають 19 вхідним змінним. Для наглядної демонстрації операції схрещування розглянемо схрещування двох хромосом батьків відносно точки обміну, що відповідає змінній  $x_i$  і дорівнює  $z_1 = 1$ . Якщо позначити хромосоми-батьки як  $S_1$  і  $S_2$ , а хромосоми-нащадки як  $Ch_1$  і  $Ch_2$ , то операцію схрещування можна представити схемою, що зображена на рис 2.

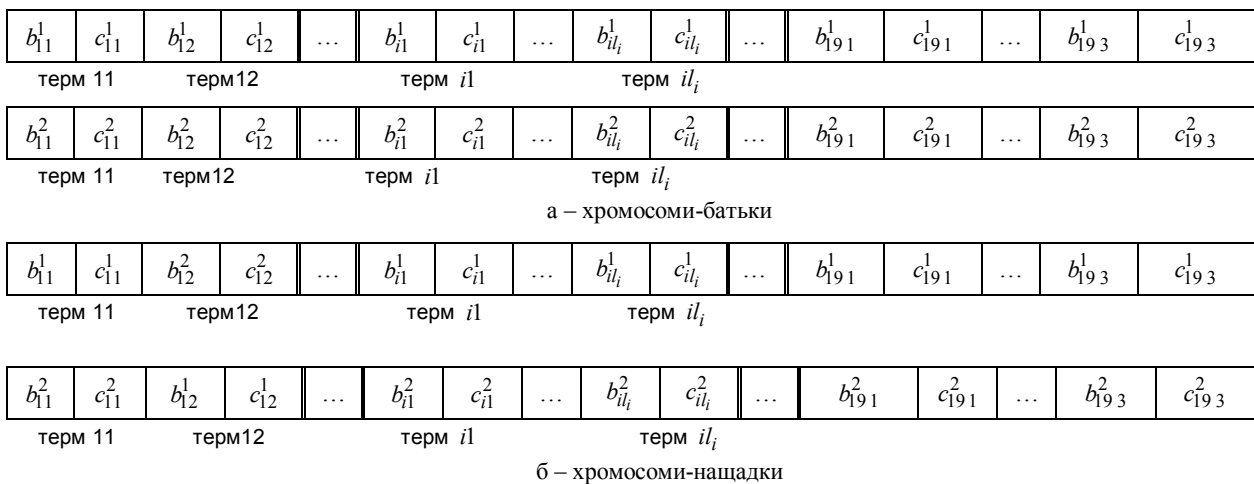


Рис. 2. Схрещування відносно першої точки обміну

В результаті обміну генами, які відповідають термам «некритична» та «критична», може трапитись, що  $b_{11} > b_{12}$ , коли  $1 < 2$ . В цьому випадку треба поміняти  $b_{11}$  і  $b_{12}$  місцями. Тому треба контролювати впорядкованість термів після проведення кожної операції схрещування.

Для представлення алгоритму проведення схрещування введемо такі позначення:

$b_{ij}^{S_1}, c_{ij}^{S_1}$  –  $ij$ -ті значення координати максимуму та коефіцієнту розтягування функції належності, відповідно, у хромосомі  $S_1$ ;

$b_{ij}^{S_2}, c_{ij}^{S_2}$  –  $ij$ -ті значення координати максимуму та коефіцієнту розтягування функції належності, відповідно, у хромосомі  $S_2$ ;

$b_{ij}^{Ch_1}, c_{ij}^{Ch_1}$  –  $ij$ -ті значення координати макси-

муму та коефіцієнту розтягування функції належності, відповідно, у хромосомі-нащадку  $Ch_1$ ;

$b_{ij}^{Ch_2}, c_{ij}^{Ch_2}$  –  $ij$ -ті значення координати максимуму та коефіцієнту розтягування функції належності, відповідно, у хромосомі-нащадку  $Ch_2$ .

Схрещування двох хромосом-батьків  $S_1$  і  $S_2$ , в результаті якого отримуються нащадки  $Ch_1$  і  $Ch_2$ , здійснюється за наступним алгоритмом [1].

1. Визначити випадковим чином 19 цілих точок обміну  $z_i: 1 \leq z_i < l_i$ , де  $l_i$  – кількість термів вхідних змінних  $x_i, i = \overline{1, 19}$ .

2. Скомбінувати гени хромосом-батьків  $S_1$  і  $S_2$  відносно встановлених точок обміну  $z_i$  за наступними правилами:

$$b_{ij}^{Ch_1} = \begin{cases} b_{ij}^{S_1}, & j \leq z_i \\ b_{ij}^{S_2}, & j > z_i \end{cases}, \quad b_{ij}^{Ch_2} = \begin{cases} b_{ij}^{S_2}, & j \leq z_i \\ b_{ij}^{S_1}, & j > z_i \end{cases}, \quad (6)$$

$$c_{ij}^{Ch_1} = \begin{cases} c_{ij}^{S_1}, & j \leq z_i \\ c_{ij}^{S_2}, & j > z_i \end{cases}, \quad c_{ij}^{Ch_2} = \begin{cases} c_{ij}^{S_2}, & j \leq z_i \\ c_{ij}^{S_1}, & j > z_i \end{cases}, \quad (7)$$

$1 \leq j < l_i, i = \overline{1, 19}$ .

3. Для контролю впорядкованості термів перевірити значення координат максимуму функцій належності:

$$\begin{aligned} (b_{i\xi} > b_{i\eta}) \wedge (\xi < \eta) \Rightarrow b_{i\xi} \leftrightarrow b_{i\eta}, c_{i\xi} \leftrightarrow c_{i\eta}, \\ 1 \leq \xi, \eta \leq l_i, i = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (8)$$

де  $\leftrightarrow$  символ обміну.

Мутацію генів хромосоми, що задана вектором (1), будемо здійснювати з ймовірністю  $p_m = 0,05$ .

Мутація генів відбувається випадковим чином відповідно до таких формул [1]:

$$Mu(b_{ij}): b_{ij} = RANDOM\left(\left[\underline{x_i}, \overline{x_i}\right]\right), \quad (9)$$

$$Mu(c_{ij}): c_{ij} = RANDOM\left(\left[\underline{c_i}, \overline{c_i}\right]\right), \quad (10)$$

де  $[\underline{c_i}, \overline{c_i}]$  – діапазон зміни значень коефіцієнта розтягування функції належності термів вхідної змінної  $x_i, [\underline{c_i}, \overline{c_i}] \in (0, +\infty), i = \overline{1, n}$ ;

$[\underline{x_i}, \overline{x_i}]$  – універсальна множина змінної  $x_i$ ;

$RANDOM\left(\left[\underline{a}, \overline{a}\right]\right)$  – операція знаходження рівномірно розподіленого на інтервалі  $[\underline{a}, \overline{a}]$  випадкового числа.

Операція мутації окремих генів хромосом здійснюється за таким алгоритмом [1].

1. Згенерувати  $77 \cdot 2 = 144$  випадкових чисел для кожного гена вектора  $S$  за допомогою функції  $z = RANDOM([0,1])$ . Елемент вектора  $S$  не піддавати операції мутації у випадку, коли  $z > p_m$ , інакше перейти до пункту 2.

2. Виконати операцію мутації вибраного гена хромосоми  $S$  за формулами (9) – (10).

3. Провести контроль за порядком термів відповідно до співвідношення (8).

## 2. Застосування ГА для навчання нечітких моделей діагностування поливів

Розглянемо завдання застосування ГА для навчання нечітких моделей діагностування поливів. Використання нечітких моделей для автоматизації функціонування зрошувальних систем розглянуто в [3 – 7]. Для реалізації генетичного алгоритму встановимо наступні параметри: розмір початкової популяції  $K = 100$ , коефіцієнт схрещування  $p_c = 0,02$ , коефіцієнт мутації  $p_m = 0,05$ , кількість ітерацій генетичного алгоритму дорівнює 5000.

В результаті здійснення однієї ітерації генетичного алгоритму кількість хромосом у популяції буде зростати відповідно до коефіцієнту схрещування, тому для забезпечення сталого розміру популяції після кожної епохи генетичного алгоритму необхідно зменшувати її розмір на  $p_c \cdot K$  хромосом з найменшим значенням функції відповідності.

Таким чином, настроювання нечіткої моделі можна представити наступною послідовністю етапів генетичного алгоритму [1].

1. Ініціалізувати початкову популяцію у розмірі  $K = 100$ .

2. Оцінити пристосованість хромосом за функцією відповідності  $FF(S_i), i = \overline{1, K}$ , використовуючи співвідношення (4).

3. Провести селекцію батьківських хромосом у кількості  $\frac{p_c \cdot K}{2} = 10$  пар.

4. Провести схрещування вибраних на попередньому етапі хромосом-батьків відповідно наведеному алгоритму.

5. У відповідності з вибраним коефіцієнтом мутації виконати операцію мутації одержаних після схрещування хромосом-нащадків за наведеним алгоритмом.

6. Оцінити одержані у попередньому пункті хромосоми за функцією відповідності та зменшити розмір популяції на  $p_c \cdot K = 20$  її членів, що мають найменші значення функцій відповідності  $FF(S_i)$ .

7. Якщо одній із хромосом  $S_i$  відповідає значення функції відповідності  $FF(S_i) = 0$ , вона представляє оптимальний розв'язок. В іншому випадку вернутися на другий етап генетичного алгоритму та здійснювати настроювання нечіткої моделі задане число ітерацій. По закінченні генетичного алгорит-

му обрати хромосому з найбільшим значенням функції відповідності. Така хромосома представляє субоптимальний розв'язок оптимізаційної задачі.

В результаті настроювання нечіткої моделі генетичними алгоритмами отримали функції належності з визначеними параметрами.

Визначення адекватності прийняття рішень реалізуємо наступним чином. Після навчання нечіткої моделі необхідно перевірити збіг комп'ютерного рішення з дійсною необхідністю у зрошенні за тестувальною вибіркою. Такий збіг результатів визначається точністю настроювання параметрів функцій належності за умов достовірних експертних правил з нечіткої бази знань.

Для тестування нечіткої моделі було сформовано тестувальну вибірку, що складалася із  $N = 90$  ситуацій прийняття рішень, де кожному з 9 діагнозів поливу відповідало  $N_i = 10$  ситуацій. Тестування нечіткої моделі визначило 83 збіги із 90 ситуацій

тестувальної вибірки, що складає 92,2% правильних рішень щодо необхідності поливу.

### Висновки

На основі запропонованого ГА навчання нечітких регресійних моделей розроблено інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень при діагностуванні параметрів режимів зрошення. Таку систему впроваджено у процес визначення строків та норм поливу при зрошенні овочевих культур сімейства пасльонових. Розроблена система підтримки прийняття рішень дозволяє в залежності від вибору режиму зрошення визначати потребу рослин у воді і або отримувати високі врожаї на фоні раціонального використання води, або заощаджувати водні ресурси при певних втратах врожаю, що з економічної точки зору є доцільним в порівнянні з витратами на подачу додаткових об'ємів поливної води для досягнення максимальних врожаїв.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети / Ротштейн А.П. - Винница: УНІВЕРСУМ - Вінниця, 1999. - 320 с.
2. Gen M. Genetic Algorithms and Engineering Design / Gen M., Cheng R. — John Wiley & Sons, New York, 1997. - 352 p.
3. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / Круглов В.В., Длин М.И., Голубов Р.Ю. — М.: Физматлит, 2001. — 224 с.
4. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А.В. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 736 с.
5. Лисогоров К.С. Математичне моделювання і створення автоматизованих систем управління в зрошуваному землеробстві / Лисогоров К.С. — Херсон : Айлант, 2003. — 184 с.
6. Леві Л.І. Синтез автоматизованої системи керування вологозабезпеченістю сільськогосподарських культур при підґрунтового зволоженні // Вісник Полтавської державної аграрної академії / - №1 (24), 2019. - С. 201 - 204. <http://doi.org/10.31210/visnyk2019.01.27>
7. Раскин Л.Г. Нечеткая математика. Основы теории. Приложения / Раскин Л.Г., Серая О.В. – Х.: Парус, 2008. – 352 с.

Received (Надійшла) 26.06.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.08.2020

### Genetic algorithms of optimization in the problems of irrigation systems control

L. Lievi

**Abstract.** Today there is a tendency to increase the complexity of mathematical and formal models of real systems and control processes. This is due to the need to increase the adequacy of these models and take into account as many factors as possible that influence decision-making processes. Traditional methods of model building do not lead to satisfactory results when the description of the problem to be solved is inaccurate and incomplete from the beginning. The desire to obtain all the comprehensive information to build an accurate mathematical model of any complex real situation can only lead to a waste of time and money, because it may be impossible in principle. Until recently, two large classes of mathematical models and methods were used in the design and study of automated control systems and intelligent support systems for preparation and decision-making processes: one of them is represented by deterministic and the other by probabilistic models. Today there is a rapid development and increasing application in various fields of the third, completely new class of models and methods based on the principles of fuzzy set theory. A new direction has been developed, such as soft computing, which has made it possible to optimize fuzzy models. The use of optimization methods allowed to build adequate models of processes and systems, even with a rather rough initial fuzzy model. However, in systems based on a fuzzy approach, especially with a large number of variables, it is almost impossible to take into account the synergies that may occur when some specific values of individual variables appear together, and it is impossible to take into account differences in the importance of decision factors. In particular, in this work, genetic algorithms are used as optimization methods to minimize the distance between the desired and model result of the logical conclusion. Based on genetic algorithms for training fuzzy regression models, an intelligent decision support system for diagnosing irrigation regime parameters has been developed. Such a system has been introduced in the process of determining the terms and norms of irrigation for irrigation of vegetable crops of the nightshade family. The developed decision support system allows, depending on the choice of irrigation regime, to determine the need of plants for water and either get high yields against the background of rational water use, or save water resources with certain crop losses, which is economically feasible compared to feed costs additional volumes of irrigation water to achieve maximum yields.

**Keywords:** genetic algorithms, optimization methods, correspondence function, chromosome, gene recombination, mutation, crossing, chromosome selection.



В. В. Мошаренков

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ МЕТОДИЧНИХ ПОХИБОК КАЛІБРУВАННЯ ЕЛЕКТРОВІМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ЗМІННОГО СТРУМУ СИГНАЛАМИ ПРЯМОКУТНОЇ ФОРМИ ТИПУ «МЕАНДР»

**Анотація.** Метою статті є розробка методу оцінки методичних похибок калібрування електровимірювальних приладів змінного струму сигналами прямокутної форми. **Результати.** Проведена оцінка методичних похибок калібрування ЕВПЗС сигналами прямокутної форми типу «меандр» для двох типових видів вимірювальних ланцюгів приладів. Розглядаються прикладні аспекти оцінки методичних похибок при калібруванні електровимірювальних приладів змінного струму сигналами прямокутної форми типу «меандр» для двох типових видів вимірювальних ланцюгів приладів, без компенсації і з компенсацією. За результатами аналізу отримані аналітичні вирази для відносних значень методичних похибок у вимірювальних ланцюгів приладу без компенсації і з компенсацією. Підтверджено за результатами аналізу можливість застосування сигналів прямокутної форми типу «меандр» для калібрування електромагнітних приладів.

**Ключові слова:** сигнали прямокутної форми, електровимірювальні пристрої змінного струму, методична похибка, калібрування.

### Вступ

Рівень розвитку науки і техніки в значній мірі визначаються точністю, надійністю і стабільністю властивостей вимірювальних приладів. Електровимірювальні прилади змінного струму (ЕВПЗС) представляють собою один з найбільш масових видів вимірювальних засобів. Калібрування ЕВПЗС виконуються за традиційною схемою [1]. Тобто, аналоговими сигналами синусоїдальної форми, причому метрологічні вимоги до калібраторів таких сигналів постійно підвищуються. Задоволення цих вимог все більш викликає більші схемотехнічні труднощі та вартість. Але з розвитком цифрової вимірювальної техніки, в тому числі цифрових генераторів (та калібраторів) сигналів [2], певний науковий інтерес викликає проблема калібрування ЕВПЗС сигналами не синусоїдальної, а прямокутної форми типу «меандр». Для відтворення яких можуть бути використані цифрові калібратори, які мають значні переваги в порівнянні з аналоговими калібраторами синусоїдальних сигналів.

**Аналіз літератури.** В даний час досить докладно досліджені особливості калібрування і повірки електромеханічних вимірювальних приладів змінного струму стосовно калібрівальних сигналів прямокутної форми в [3], а більш глибокі дослідження, результати яких підтвердили новизну і ефективність цього підходу, наведено в [4]. Перші теоретичні дослідження проведені і для повірки електромеханічних вимірювальних приладів змінного струму аналоговими сигналами спеціальної форми [5, 6].

Але цього недостатньо для розвитку теорії калібрування ЕВПЗС аналоговими сигналами прямокутної форми до такого рівня, який дозволить потім перейти до калібрування ЕВПЗС цифроаналоговими сигналами довільної форми [7-10].

**Метою статті** є розробка методу оцінки методичних похибок калібрування електровимірювальних приладів змінного струму сигналами прямокутної форми. Дане питання потребує послідовного

вирішення низки теоретичних і прикладних завдань. Тому, проведена оцінка методичних похибок калібрування ЕВПЗС сигналами прямокутної форми типу «меандр» для двох типових видів вимірювальних ланцюгів приладів.

### Основний матеріал

Виходячи з вище сказаного, природнім виглядає дослідження можливості калібрування ЕВПЗС із застосуванням сигналів прямокутної форми типу «меандр» ближчими до реальних вимірюваним сигналам ніж синусоїдальний сигнал.

Часова діаграма калібрівального сигналу (КС) прямокутної форми типу «меандр» приведена на рис. 1, аналітично вона описується виразом

$$u(t) \equiv u = \begin{cases} -U_0, & \text{если } 0 \leq t \leq T/2; \\ U_0, & \text{если } T/2 \leq t \leq T, \end{cases}$$

де  $U_0$  – амплітуда КС прямокутної форми типу «меандр»;  $T$  – період КС прямокутної форми типу «меандр».

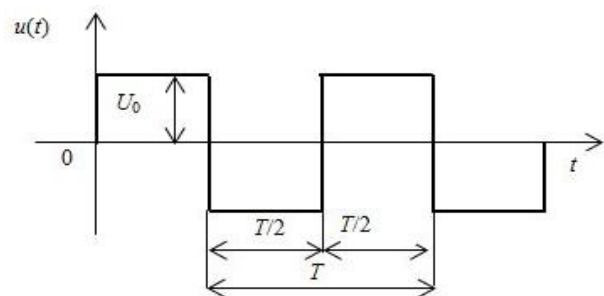


Рис. 1. Калібрівальний сигнал прямокутної форми типу «Меандр»

Представимо функцію  $u(t)$  рядом Фур'є, тоді маємо [7]:

$$u(t) = \frac{4U_0}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sin(2k+1)\omega t}{2k+1},$$

де  $\omega = 2\pi/T$  – колова частота основної (першої) гармоніки КС прямокутної форми типу «меандр»  $u(t)$ .

Отримаємо вираз для градуовальної характеристики ЕВПЗС при входному сигналі прямокутної форми. У цьому випадку напруга може бути подана рядом Фур'є.

$$U_{2k+1} = \frac{4U_0}{\pi(2k+1)}, \quad k = \overline{0, \infty}, \quad (1)$$

де  $U_0$  – амплітуда сигналу прямокутної форми типу «меандр».

Тоді амплітуда  $(2k+1)$ -ої гармоніки струму  $i(t)$  в вимірювальному ланцюзі ЕВПЗС, що калібрується, визначається виразом:

$$I_{2k+1} = \frac{U_{2k+1}}{R[1 + \varepsilon \xi(jk)]}, \quad k = \overline{0, \infty}, \quad (2)$$

де  $\varepsilon = Z_1/R$ ;

$$\xi(q) = Z_1(q\omega_0)/q;$$

$$q = j\omega/\omega_0;$$

$$Z_1 = |Z_1(j\omega_0)| -$$

модуль частотно-залежної складової комплексного повного опору вимірювального ланцюга  $Z(j\omega)$ ;  $R$  – еквівалентний активний опір,  $\varepsilon$  сумою вхідного активного опору калібруатора (генератора), активного опору калібруемого ЕВПЗС і обмежувального (додаткового) опору, що підключається послідовно з приладом (при калібруванні вольтметрів – може бути відсутнім);  $\omega_0$  – колова частота основної гармоніки сигналів прямокутної форми типу «меандр».

Градуовальна характеристика калібрування ЕВПЗС визначається квадратом середнього квадратичного значення струму з урахуванням (1), (2) маємо:

$$I^2 = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} I_{2k+1}^2 = \frac{4U_0^2}{\pi^2 R^2} S, \quad (3)$$

$$S = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{(2k+1)^2} = \frac{\pi^2}{4} + \pi \sum_n \frac{A_n}{q_n^2} \operatorname{th} \frac{\pi q_n}{2}, \quad (4)$$

$q_n, A_n$  – відповідно полюси і лишки дрібно-раціональної функції

$$R(q) = \frac{1}{[1 + \varepsilon \xi(q)][1 + \varepsilon \xi(-q)]}.$$

Всі електромагнітні амперметри та вольтметри змінного струму можливо поділити на дві групи: прилади, в яких мала індуктивність вимірювального механізму не компенсована ємністю (рис. 2, а), і прилади, в яких така компенсація здійснюється (рис. 2, б).

Отримаємо вираз для методичної похибки ЕВПЗС першої та другої груп.

Для приладів першої групи справедливі рівняння

$$R = r + R_0;$$

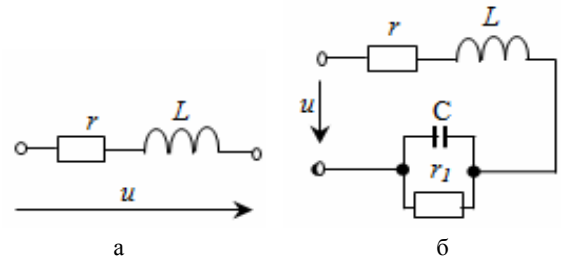


Рис. 2. ЕВПЗС першої(а) та другої (б) груп

$$Z_1 = pL;$$

$$\xi(q) = q;$$

$$\varepsilon = \omega_0 L/R.$$

В цьому випадку є по одному полюсу в лівій ( $q_1 = -1/\varepsilon$ ) і в правій ( $q_1 = 1/\varepsilon$ ) напівплощинах.

З виразу (4) знаходимо, що

$$S = \frac{\pi^2}{4} - \frac{\pi}{2} \varepsilon = \frac{\pi^2}{4} \left(1 - \frac{2\varepsilon}{\pi}\right). \quad (5)$$

Підставляючи рівняння (5) до виразу (3), отримаємо

$$I = \frac{U_0}{R} \left(1 - \frac{\varepsilon}{\pi}\right). \quad (6)$$

Використовуючи рівність (6) отримаємо вираз для відносної методичної похибки калібрування ЕВПЗС першої групи при калібруванні сигналами типу «меандр»:

$$\delta I_1 = \frac{I - U_0/R}{U_0/R} = -\frac{\varepsilon}{\pi} = -\frac{\omega_0 L}{\pi R}. \quad (7)$$

Аналогічно для відносної методичної похибки калібрування ЕВПЗС другої групи сигналами типу «меандр» отримаємо

$$\delta I_2 = -\frac{2}{\pi} \left( \frac{A_1}{q_1^2} + \frac{A_2}{q_2^2} \right).$$

Після обчислення полюсів  $q_n$  і лишок  $A_n$  функції  $R(q)$ , маємо

$$A_1 = \frac{1 - \alpha^2 q_1^2}{\varepsilon^2 (q_1 - q_2)(q_1 + q_2) 2q_1},$$

$$A_2 = \frac{1 - \alpha^2 q_2^2}{\varepsilon^2 (q_2 - q_1)(q_1 + q_2) 2q_2}.$$

Підставимо цей вираз у формулу (5) і після перетворень маємо

$$\delta I_2 = \frac{(1 + 2\alpha^2 - \alpha^2 \varepsilon) \varepsilon}{4\pi \alpha (1 - \varepsilon)}, \quad (8)$$

$$\text{де } \alpha = r_1 \omega_0 C; \quad \varepsilon = \frac{\alpha^2 \beta}{1 + \alpha^2}; \quad \beta = r_1/R.$$

При  $\varepsilon, \alpha \ll 1$  співвідношення (8) суттєво спрощується:

$$\delta I_2 = \frac{\varepsilon}{\pi \alpha} = \frac{\gamma}{\pi} = \frac{\omega_0 L}{\pi R}. \quad (9)$$

Отже, з виразів (7), (9) видно, що модулі відносної методичної похибки калібрування електромагнітних амперметрів і вольтметрів сигналами прямокутної форми типу «меандр» однакові та визначаються ставленням індуктивного опору вимірювального механізму на робочій частоті до активного опору вимірювального ланцюга приладу.

### Висновки

Проведено оцінку методичних похибок калібрування електровимірювальних приладів змінного струму сигналами прямокутної форми типу

«меандр» для двох типових видів вимірювальних ланцюгів приладів: без компенсації і з компенсацією індуктивності котушки вимірювального механізму.

Отримані аналітичні вирази (7), (9) для відносних значень методичних похибок для обох видів вимірювальних ланцюгів приладу, з яких видно, що похибки рівні по модулю та протилежні за знаком.

Результати аналізу методичних похибок амперметрів і вольтметрів показує, що ці похибки на частоті 50 Гц достатньо малі порівняно з класом точності, що калібрують ся, і ними можна знехтувати. Це підтверджує можливість застосування для калібрування електромагнітних амперметрів і вольтметрів сигналів прямокутної форми типу «меандр».

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дьяконов В. П. Генерация и генераторы сигналов. – М.: ДМК Пресс, 2009 –384с.
2. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике. Изд.2-е, перераб. и доп. – М.: СОЛОН-Пресс, 2010 –400с.
3. Минц М. Я. Об использовании сигналов прямоугольной формы для поверки электромеханических приборов / М. Я. Минц, В. Н. Чинков. // Измерительная техника. – 1980. – № 3. – С.42-43.
4. Минц М. Я. Поверка электромеханических приборов сигналами прямоугольной формы с регулируемой скважностью / М. Я. Минц, В. Н. Чинков // Измерительная техника.– 1987. – № 4. – С.64-66.
5. 6. Минц М.Я. О поверке электромеханических измерительных приборов сигналами специальной формы / М. Я. Минц, В. Н. Чинков // Измерительная техника. – 1989. – № 8. – С.63-65.
6. Чинков В. Н. Прецизионные методы и калибраторы воспроизведения коэффициентов несимметрии трехфазной системы синусоидальных напряжений / В. Н. Чинков, В. В. Мошаренков // Український метрологічний журнал. – 2013. – № 3. – С. 18 – 21.
7. Денисенко А.Н. Сигналы. Теоретическая радиотехника: справочное пособ. / А. Н. Денисенко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 704 с.
8. Чинков В. М. Методика синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану зразків озброєння при локальному обмеженні / В. М. Чинков, С. В. Герасимов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. – Вип. 1 (14). – С. 194-197.
9. Electronic Test Instruments: Analog and Digital Measurements. Author: Robert A. Witte Publisher: Prentice Hall, 2002, 371 p.
10. Testing Signals for Electronics: Criteria for Synthesis / S. Herasimov, V. Pavlii, O. Tymoshchuk, M. Yu. Yakovlev, D. Ye. Khaustov, Ye. Ryzhov, L. Sakovych, Yu. A. Nastishin // Journal of Electronic Testing. Volumes 35, Issues 3 (148), June 2019, p.p. 349–357. – doi.org/10.1007/s10836-019-05798-9.

Received (Надійшла) 28.05.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.08.2020

### Development of methodological errors assessment method calibration electric measuring devices of current rectangular wave from the «meander» type

V. Mosharenkov

**Abstract.** The aim of the article is to develop a method for estimating methodological errors in calibration of AC electrical measuring instruments with rectangular signals. This article deals with the applied aspects of estimation of methodological errors in calibration of alternating current electrical measuring instruments with rectangular «meander» signals for two typical types of instrument circuits, without compensation and with compensation. Mathematical models of calibration of electromagnetic measuring devices with signals of rectangular meander type and conditions of its equivalence to classical calibration of sine wave signals were obtained. It is shown that the introduction of a correction factor for the calibration of electromagnetic measuring devices with signals of rectangular shape of the type "meander" is possible provided that its amplitude is equal to the mean square value of the sinusoidal signal in the corresponding markings of the scale of the device. These models and equivalence conditions are also valid for electrodynamic ammeters and alternating current electrical measuring instruments. According to the results of the analysis, analytical expressions were obtained for the relative values of methodological errors in the measuring circuits of the device without compensation and with compensation. The results of the analysis confirmed the possibility of using rectangular waveforms of the "meander" type for calibration of electromagnetic devices. The developed method allows to estimate the methodological errors in calibration of alternating current electrical measuring instruments using rectangular signals. The results of the analysis give analytical expressions of the relative values of methodological errors in the measuring circuits of the device. The results of the analysis confirmed the possibility of using rectangular waveforms of the «meander» type for calibration of electromagnetic devices.

**Keywords:** rectangular signals, electromeasuring devices of alternating current, methodological error, calibration.

O. V. Shefer, G. V. Golovko, Ye. A. Chaika, M. A. Luchko

National University "Poltava Polytechnic Yuri Kondratyuk", Poltava, Ukraine

## DEVELOPMENT OF A COMPUTER NETWORK OF THE REGIONAL OFFICE OF WATER RESOURCES IN POLTAVA REGION WITH AN INTELLIGENT DATABASE MANAGEMENT SYSTEM

**Abstract.** The subject matter of the article is the process of matching the optimal solutions for improving the local computer network. **The purpose** is to update the existing local computer network of the Regional Office of Water Resources in Poltava region. **The task** is to justify the opportunity for using various types of network applications and components. Having applied knowledge about the characteristics of each viewing items' properties, the obtained results are used to enter them into a single network. **Results.** All possible types of network applications and components were identified and the most optimal process for updating and improving the computer network at the Regional Office of Water Resources in Poltava region was chosen. Also, with the introduction of a new local computer network, the possibility of choosing from the most widespread local networks was analyzed and having come to a conclusion that the local computer network topology of the star is the most optimal option for this enterprise. The article analyzes and points out that the implementation of this computer network also increases the network security, and significantly increases the speed of fixing the emerging problems in any workstation without affecting the overall network performance. **To summarize the conclusions:** in order to maximize network productivity the local computer network with a dedicated server was selected, i.e. star topology, that has led to an increase in network security and an increase in the speed of fixing problems in any workstation without affecting the overall network health.

**Keywords:** network, topology, network operation system, network software.

### Introduction

Perhaps the modern Internet is the largest engineering system created by a person. It contains millions of connected computers, communication lines and switches; with billions of users connected through various data communication devices. Let's take into account that the Internet is so large and has that many different components, however in the meanwhile, is it possible to understand how it works? Are there any leading principles and structure that can serve as the basis for understanding an incredibly large and at the same time a difficult system? But if so, might be interesting to learn computer networks? However, for all these questions, we are surely answering YES! In fact, our purpose in this article is to offer a modern introduction to the fast-growing area of computer networks, highlighting the information system and the principles that are needed to understand both today's and tomorrow's technologies. Studying the computer networking general principles will help you to deal quickly with any specific network technology in the future. However, the well-known expression "Knowledge of several principles frees from memorizing a set of facts" should not be taken literally - a good specialist, of course, should know a lot of details and facts. Principles knowledge allow to systematize this private statements, link them with one another in a coherent system and thereby use it more consciously and efficiently. Of course, the principles studying before the specific technologies studying is not an easy task, therefore, in this article we will consider the general computer network aspects. We will organize our computer networks review in such way. After introducing basic terminology and some aspects, at first we will consider the basic hardware components that make up the network. We will also start with the

network periphery and overview the end systems and network applications that run on the network. Then we explore the computer network core by analyzing the communications and switches that transmit data. We are also exploring access networks and physical media that connect end systems to the network core. That is, different varieties of computer network construction and their problematics will be investigated.

#### Analysis of common network building options.

Historically, the main purpose of integrating computers into a network was the resources sharing: computer users connected to the network, or applications that run on these computers, being able to automatically access various resources of other computers on the network. In order to connect it is necessary that they have been provided with external interfaces. The interface - in a broad sense - is formally determined logical and / or physical boundary between the interacting independent objects. The interface specifies the parameters, procedures, and the objects interaction characteristics. Interfaces are divided into physical and logical interfaces.

The physical interface is determined by a set of electrical connections and signal characteristics. Usually it is a connector with contacts' set, each of that has a specific purpose, for example, it can be a group of contacts for data transmission and data synchronization contacts. A pair of connectors is linked by cable, consisting of a wires set, each of them connects the corresponding contacts. In such cases, talking about the line or channel creation, the connection between two devices [1-4].

The logical interface is an information messages set of a certain format, which are exchanged between two devices or two programs, as well as a rules set defining exchange logic of these messages. The most commonly used interfaces are computer to computer and computer-peripheral device [5-7].

Computer-to-computer interface allows two computers to share information. It is implemented with a pair on each side [8]:

- a hardware unit, called a network adapter, or a network interface card (Network Interface Card, NIC);
- a network interface card driver, is a special program that controls the network interface card operation.

A computer interface is a peripheral device that allows a computer to control a peripheral device operation. This interface is implemented:

- from the computer side - an interface card and a peripheral device driver similar to the network interface card and its driver;
- from the peripheral device side - the peripheral device controller, is usually a hardware device, receives data from the computer, for instance, information bytes that needs to be printed on paper. [1]

The need for access a remote device - users might have arise the most various applications: text editor, graphic editor, database management system. Obviously, that the duplication in each of the functions common applications to all of them in organizing the separated tasks execution is excessive.

The most efficient is the approach in which functions are excluded from applications and executed in the form of a specialized software modules pair - (client and tasks server).

Summarizing this approach in relation to other shared resources types, we will provide the following definitions:

A client is a module designed for the request messages formation and transmission to the remote computer resources from various followed by receiving the results from the network and transferring them to the relevant applications.

A server is a module that constantly expects to come from network a customer request arrival and, upon a request acceptance, tries to serve it, as a rule, with the local operating system participation; one server can serve several clients requests at once (one by a time or simultaneously).

Each service is associated with a specific network resources type. Thus the client and server modules that implement remote access to the devices form a network service [1].

The computer's operating system is often described as an interconnected system programs set that provides efficient computer resources control (memory, processor, external devices, files, etc.), and also provides the user with a convenient interface for working with computer hardware and application development.

Speaking of the network operating system, we obviously need to expand the managed resources boundaries beyond one computer. The network operating system is the computer's operating system, which, in addition to managing local resources, provides users and applications efficient and convenient access to network informational and other computers hardware resources. Remote access to network resources is provided by:

- network services;
- transporting messages facilities over the network (in the simplest case, network interface cards and their drivers).

Therefore, it is necessary that these modules have been added to the operating system so that it could be called networked. Operating system determines its position in the overall range of network operating systems due to how much network services and services are offered by the operating system to end users, applications and network administrators. In addition to network services, the network operating system should include software communication (transport) tools that provide messages transmission, exchanged between client and server parts of network services, with hardware communication tools. The tasks of communication between computers on the network are carried out by drivers and protocol modules. They perform functions such as message generation, splitting messages into parts (packets, frames), converting computer names into numeric addresses, duplicating messages in case of loss, determining the route in a complex network. Both network services and carriers can be integral (embedded) operating system components or exist as separate software products. A typical network operating system has a large set of drivers and protocol modules, but the user, generally, has the ability to supplement this standard set with programs he needs. The decision on how to implement clients and the network service servers, as well as drivers and protocol modules, is adopted by developers taking into account a variety of reasons: technical, commercial, and even legal. The network service can be represented in the operating system with either both (client and server) parts or only one of them [1].

Also not an integral part of the local network of the enterprise is an information system which is a set of databases and a set of hardware and software for its storage, modification and retrieval of information, for interaction with the user. Information systems are divided into personal, group and corporate. Personal IPs are focused on sharing by individual end users. Group - for collective use by members of the working group, while solving interrelated tasks in a common database. Corporate IPs are focused on the scale of the enterprise, can support the coordinated work of geographically distributed units of the enterprise. Group and corporate IPs involve connecting workstations (personal computers, terminals ...) to a computer network. This possibility is of great practical importance. Information systems are evolving in their long life cycle - the functions of IP are becoming more complex and new functions are emerging. All this inevitably leads to a change in the structure of the database - there are new files and new fields in old files, the type of some fields may change. Note that a program written in (pure) Python will work properly with the file, even if the changes occurred only in those fields with which it does not work directly - at least you need to change the file description and relay the program.

The opportunity to ensure independence according to the data opens up due to the fact that:



- DBMS has information about the data structure (from the description in DDL);

- DML operators - the language in which applications are written, performed by the database.

Data independence technology is based on the concept of 3-level database representation (ANSI / SPARC-1975):

- logical (average) level: conceptual representation of the database (conceptual scheme of the database) - a description of the structure of the database of the subject area as a whole, but without details of the physical structure of storage;

- physical (lower) level: internal representation of the database (internal scheme of the database) - a description of the structure of database storage, including access methods;

- intended for the user (upper) level: external representations of the database (external schemes, subcircuits) - a description of the structure of database fragments, local to different subsystems of IP and application processes of these subsystems; information system applications use only the appropriate external representations of the database.

Also, the enterprise network equipment plays an important role. This information must be taken into account when creating a computer network in an enterprise. A LAN switch is a device designed to connect multiple computer network hosts within a single segment. Switch Zyxel GS1900-24E; Data transfer rate: 1000 Mbps; Connectors: 24xRJ-45.

Twisted pair is a network cable type, with one or more pairs of isolated conductors twisted together (with a small number of turns per unit length) to reduce reciprocal movements when transmitting a signal and coated with a plastic sheath. The cable is connected to network devices using the RJ-45 connector. It supports data transmission at a distance of about 100 meters.

RJ-45 is a physical interface that is commonly used to connect computer networks using a twisted pair over a network switch, or when creating a network from two computers to one another through a network card.

In accordance with the customer requirements, the marketing search for the necessary hardware and software of the local computer network was carried out (Table 1, 2, 3) and the estimated total project cost (Table 4).

Table 1– The cost of network equipment

Name	Amount	Cost per 1 unit, UAH	Full price, UAH
LAN Switch	3	4 955	14 865
Cable	500 m	12	6000
Connector RJ-45	150	2,50	375
<b>Total</b>			21240

Table 2– Software cost

Name	Amount	Cost per 1 unit, UAH	Full price, UAH
Microsoft Windows 10 Enterprise	29	7 800	226 200
Microsoft Office 2020 (boxed version)	29	7 000	203 000
Microsoft Windows Server 2020 Standart	1	25 899	25 899
1C Accounting for Ukraine	8	6 690	53 899
<b>Total</b>			509 998

Table 3– Server characteristics

Name	Characteristics
Dell PowerEdge T30	Intel Xeon Quad-Core E3-1225 v5 (3.3 - 3.7 ГГц) 8GB DDR4; HDD: 2 x 8 TB; SATA SSD: 250 GB.

Table 4.– Cost of the local network

Constituent	Cost, UAH
Software	509 998
Network equipment	21 240
Hardware	648 570
<b>Total</b>	1 179 808

There are many characteristics associated with the traffic transfer through physical channels.

- The proposed load is the data stream coming from the user to the network input. The proposed load can be characterized by the speed of data stream into the network in bits per second (or kilobits, megabytes, etc.).

- Data flow rate is the actual data flow speed that has passed through the network. This speed may be less than the proposed load speed, as the data in the network may be distorted or lost.

- Communication channel capacity, also called bandwidth, which represents the maximum possible information flow rate over a channel.

The specificity of this characteristic is that it reflects not only the physical medium parameters of transmission, but also the features of the chosen transmitting discrete information method in this medium. For example, the fullness of the communication channel in the Ethernet network on an optical fiber is 10 Mbps. This speed is extremely

possible for combining Ethernet and optical fiber technology. Thus, fast Ethernet technology provides data transfer over the same optical fiber with a maximum speed of 100 Mbps, and Gigabit Ethernet technology - 1000 Mbps. The transmitter of the communication device must operate at a rate equal to the bandwidth of the channel. This speed is sometimes called the bit rate of transmitter. Bandwidth - this term can be misleading because it is used in two different values. First, using it can characterize the transmission medium. Secondly, the term "bandwidth" is used synonymously with the term communication link capacity [2].

While transferring information from a computer to a computer information must be transmitted in two directions. So, it's necessary to understand that even when you simply receive information or transmit it, the information exchange goes from both directions. Namely, the main stream of data is created which is of interest to the recipient receiving the receipt information.

However, an inverted information flow is also formed. Physical communication links are divided into several types depending on whether they can transmit information in both directions or not.

- The duplex channel provides simultaneous information flow in both directions. A two-way channel can consist of two physical environments, each of which is used to transmit information only in one direction. It is possible when one medium serves for the simultaneous transmission of counter flows, in this case, additional methods are used to separate each stream from the total signal.

- The simplex channel allows to transmit information only in one direction. [2]

The more computers one network connects, the more difficult it is to work with it. That is, if you decide to combine multiple computers into one network, you need to pre-determine the configuration and network topology.

There is a large number of topologies for building a network, and the most popular ones are the ring topology and star topology.

Ring topology is a topology in which each computer is connected by communication lines to two others: it receives information from one, and transfers it to another. Each communication line has only one transmitter and one receiver. An important feature of the "ring" is that each computer restores (retransmits, amplifies) the signal coming to it, that is, acts as a repeater. The signal attenuation throughout the "ring" is not as important as the attenuation between the neighboring computers of the "ring". The ring networks sizes reach tens of kilometers, which significantly exceeds other topologies. There is no clearly distinguished host in the "ring" topology, all computers can be the same and equal. The "ring" topology usually has high resistance to overload, provides reliable work with large information flows transmitted over the network, there are usually no conflicts in it, nor is it a mandatory central subscriber that can be overwhelmed by large information flows. [3]

The "star" topology is a topology with clearly defined host, to which all other subscribers connect. The entire information exchange goes exclusively through a host computer, which thus has more load, so it cannot deal with anything other than the network. It is clear that the host subscriber network equipment should be more complex than the peripheral subscribers' equipment. In this case, it is not necessary to speak about the subscribers' equality. As a rule, the host computer is the most powerful, and it is entrusted with all the functions of managing the exchange. Conflicts in the "star" network topology essentially are impossible, because management is fully centralized, there is nothing to confront. If we talk about the stability of the star concerning to the computers failures, the peripheral computer failure does not affect the functioning of the remaining network part, but any host computer failure makes the network completely unusable. Therefore, special measures should be taken to increase the reliability of the host computer and its network equipment. Any cable breakdown or short circuit in the "star" topology violates the exchange with the only one computer, and all other computers can normally continue to work [3].

The central topology element is a passive wire, to which several computers are connected according to the scheme. The main advantages of this topology are its simplicity, low cost budget and easy nodes connection to the network. The disadvantages are low reliability (any defect in the wire immediately brings the entire network out of order). At the same time, small networks, as a rule, have a typical topology - a star, a ring, or a common bus. The largest networks are characterized by polyface networks between computers. In such networks, it is possible to identify individual arbitrarily connected fragments that have a typical topology, so they are a mixed network topology [2]. After analyzing all aspects and parameters of each of the network elements, we came to a common conclusion on optimal equipment.

All possible ways of creating networks and their characteristics (including the best and worst sides) have been examined and provided. So, this article is, an innovation for a person who just begins getting acquainted with the networks (Fig. 1).

Also, all products characteristics that are required to create a local network will be recommended hereinafter. Including software cost evaluation and hardware.

## Conclusions

In this paper, all possible types of network applications and components were identified and the most optimal process for updating and improving the computer network at the Regional Office of Water Resources in Poltava region was chosen.

Also, with the introduction of a new local computer network, the possibility of choosing from the most widespread local networks was analyzed and having come to a conclusion that the local computer network topology of the star is the most optimal option for this enterprise.



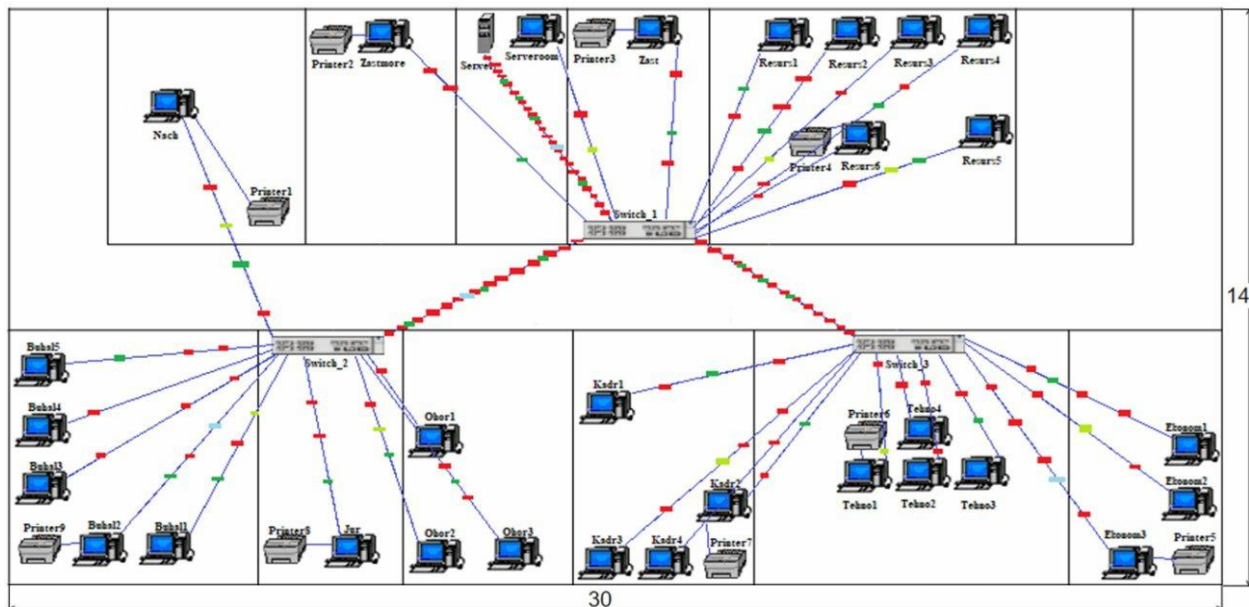


Fig. 1. Start the LAN work

The article analyzes and points out that the speed of fixing the emerging problems in any implementation of this computer network also increases the network security, and significantly increases the performance.

## REFERENCES

1. V. Olifer, N. Olifer. Kompyuternye seti, Printsipy tekhnologii protokoly\_2016.pdf
2. Kompyuternye seti Niskhodyasch podkhod Kurouz.pdf
3. Топологія мережі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/5263810/page:2/>
4. Kovalenko, A. and Kuchuk H. (2018), “Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object’s control system”, *Advanced Information Systems*, 2018, Vol. 2, No. 1, pp. 22–27, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
5. Sviridov, A., Kovalenko, A. and Kuchuk, H. (2018), “The pass-through capacity redevelopment method of net critical section based on improvement ON/OFF models of traffic”, *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 139–144, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
6. Nechausov A., Mamusuc I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21 – 26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
7. Cisco\_CCNA\_ICND2\_200-101\_Ofitsialnoe\_rukovodstvo\_po\_podgotovke\_k\_ekzamenam.pdf
8. NetCracker Professional 3.1 portable. [Електронний ресурс]. – режим доступу: <https://www.twirpx.com/file/1314986/>

Received (Надійшла) 21.07.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.08.2020

### Удосконалення комп'ютерної мережі регіонального офісу водних ресурсів у Полтавській області з інтелектуальною системою управління

О. В. Шефер, Г. В. Головка, Є. А. Чайка, М. А. Лучко

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є процес підбору оптимальних рішень щодо вдосконалення локальної комп'ютерної мережі. **Метою** є оновлення існуючої локальної комп'ютерної мережі Регіонального офісу водних ресурсів у Полтавській області. **Завдання:** обґрунтувати можливість застосування різних видів мережних додатків та комплектуючих. Застосувавши знання про характеристики властивості кожного з оглядових предметів. Отримані результати використати для занесення всього до єдиної мережі. **Результати.** визначено всі можливі типи мережних додатків та компонентів та обрано найбільш оптимальний процес оновлення та вдосконалення комп'ютерної мережі при Регіональному управлінні водних ресурсів в Полтавській області. Крім того, із запровадженням нової локальної комп'ютерної мережі була проаналізована можливість вибору серед найбільш розповсюджених локальних мереж і дійшов висновку, що топологія локальної комп'ютерної мережі зірки є найбільш оптимальним варіантом для цього підприємства. У статті аналізується та вказується, що впровадження цієї комп'ютерної мережі також підвищує мережеву безпеку та значно збільшує швидкість усунення виникаючих проблем на будь-якій робочій станції, не впливаючи на загальну продуктивність мережі. **Висновки:** задля максимальної продуктивності мережі було обрано: локальну комп'ютерну мережу з виділенням сервером, тобто топологію – зірка, що привело до підвищення безпеки мережі та підвищення швидкості виправлення виникаючих проблем в будь-якій робочій станції не впливаючи на загальну працездатність мережі.

**Ключові слова:** мережа, топологія, мережева операційна система, мережеве програмне забезпечення

С. В. Гаєвський<sup>1</sup>, С. М. Балакірева<sup>2</sup>, І. П. Кулаков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

<sup>3</sup>Командування Сил Логістики Збройних Сил України, Київ, Україна

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ НЕВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКТУЮЧИХ ВИРОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ЛІТАКА

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є процеси функціонування радіоелектронної системи сучасного літака, її комплектуючих елементів та функціональних вузлів як об'єкта визначення та розрахунку показників залишкового ресурсу. **Метою** є вдосконалення існуючого математичного апарату, що застосовується для розрахунку показників залишкового ресурсу невідновлювальних комплектуючих виробів радіоелектронної системи літака. **Завдання:** Розробити математичні моделі для розрахунку показників залишкового ресурсу невідновлювальних комплектуючих виробів радіоелектронної системи літака. Аналізованими **методами** та **моделями** є: аналітичний метод розрахунку показників залишкового ресурсу, моделі для показників залишкового ресурсу невідновлюваного об'єкта РЕС. Отримані такі **результати**. Обґрунтовано доцільність використання для вирішення завдань продовження ресурсу показників залишкового ресурсу невідновлюваних виробів: середнього залишкового ресурсу, гамма-процентного залишкового ресурсу, функції розподілу залишкового ресурсу. **Висновки.** Отримано розрахункові співвідношення для показників залишкового ресурсу для невідновлювальних виробів при різних функціях розподілу напрацювання до ресурсного відмови.

**Ключові слова:** залишковий ресурс, залишкове напрацювання, літак, математична модель, показник, радіоелектронна система, технічний стан.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Запропонована в [1, 2] схема розрахунку показників залишкового ресурсу радіоелектронної системи (РЕС) літака передбачає розбиття всіх комплектуючих виробів (КВ), функціональних пристроїв (ФП) і функціональних систем (ФС) РЕС літака на невідновлювані або відновлювані з різною глибиною відновлення, з безперервним або періодичним контролем технічного стану, з кінцевим або необмеженим числом відмов протягом призначеного строку служби, і розрахунок показників залишкового ресурсу (ЗР) для виділених типів КВ, потім для ФП і ФС.

**Аналіз літератури.** У науково-технічній літературі відповідне науково-методичне забезпечення для вирішення вказаних вище завдань не розроблено досить повно, є роботи [3-12], в яких розглядаються математичні моделі повних відновлень, мінімальних і неповних відновлень. Однак їх застосування до розв'язання задач продовження ресурсів літакового парку практично відсутнє.

Нижче розробляються математичні моделі для розрахунку показників залишкового ресурсу невідновлювальних КВ, відновлюваних ФП РЕС літака для повних, неповних і мінімальних відновлень з кінцевим числом відновлень і безперервним контролем технічного стану.

У розглянутих математичних моделях під ресурсом розуміється «технічний ресурс», як сумарне напрацювання виробу від початку його експлуатації або його відновлення після ремонту до переходу в граничний стан. Під залишковим ресурсом відповідно до [1] розуміється сумарне напрацювання виробу

бу від моменту контролю його технічного стану до переходу в граничний стан.

**Метою статті** є розробка математичних моделей для розрахунку показників залишкового ресурсу невідновлювальних комплектуючих виробів радіоелектронної системи літака.

### Основна частина

**Залишковий ресурс невідновлювальних комплектуючих виробів і математичні моделі для розрахунку їх показників.** Розглянуті нижче математичні моделі для показників залишкового ресурсу невідновлюваного об'єкта в повному обсязі поширюються на залишковий термін служби і залишковий термін зберігання.

Нехай  $\xi$  - напрацювання виробу від початку експлуатації до переходу його в граничний стан, тобто  $\xi$  - напрацювання виробу до ресурсної відмови. Тоді залишковий ресурс  $\xi_\tau$  після моменту контролю його технічного стану  $\tau$  визначається як

$$\xi_\tau = \begin{cases} \xi - \tau, & \text{якщо } \xi > \tau, \\ 0, & \text{якщо } \xi \leq \tau. \end{cases} \quad (1)$$

У задачах продовження ресурсу під моментом часу  $\tau$  розуміють, як правило, призначений ресурс. Очевидно, що величина  $\xi_\tau$  є випадковою, тому в якості показників залишкового ресурсу розглядаються її числові характеристики: «середній залишковий ресурс»  $R(\tau)$  і «гамма-процентний залишковий ресурс»  $R_\gamma(\tau)$ . Більш загальною характеристикою залишкового ресурсу є функція розподілу залишкового ресурсу, тобто

$$F_\tau(t) = P\{\xi - \tau \leq t / \xi > \tau\} = P\{\tau < \xi \leq t + \tau\} / P\{\xi > \tau\},$$

або 
$$F_\tau(t) = (F(\tau + t) - F(\tau)) / P(\tau). \quad (2)$$

Відповідна ймовірність безвідмовної роботи

$$P_\tau = 1 - F_\tau(t) = P(\tau + t) / P(\tau) \quad (3)$$

Величина середнього залишкового ресурсу

$$R(\tau) = \frac{1}{P(\tau)} \int_\tau^\infty P(x) dx \quad (4)$$

де  $P(x)$  – ймовірність безвідмовної роботи виробу протягом напрацювання  $x$ .

Можна показати, що математичне сподівання випадкової величини  $\xi_\tau$  дорівнює величині  $R(\tau)$ :

$$M[\xi_\tau] = R(\tau), \quad (5)$$

і визначення середнього ЗР за формулами (4) і (5) еквівалентні.

Показник середнього ЗР не слід плутати з величиною залишкового середнього ресурсу, що дорівнює  $(M[\xi] - \tau)$  і що є математичним очікуванням безумовної випадкової величини  $\Theta = \xi - \tau$ . Між цими величинами має місце наступна нерівність:

$$R(\tau) \geq M[\xi] - \tau.$$

Для експоненціального закону розподілу напрацювання до ресурсної відмови  $P(x) = e^{-\lambda \cdot x}$  і згідно з формулою (3.4)  $R(\tau) = R(0) = 1/\lambda$ , тобто середній ЗР дорівнює середньому ресурсу, що безпосередньо випливає з формули

$$R(0) = \frac{1}{P(0)} \int_0^\infty P(x) dx = \frac{1}{\lambda}.$$

З наведеного співвідношення випливає, що показник «середній залишковий ресурс» є узагальненням показника довговічності – «середній ресурс».

Геометричний сенс показника  $R(\tau)$  – площа під кривою  $P(x)/P(\tau)$ , де  $\tau < x < \infty$  (рис. 1).

Знайдемо величину середнього ресурсу  $m_\tau$ , витраченого виробом по досягненню напрацювання («віку»)  $\tau$ , і його зв'язок з величиною середнього ЗР. Маємо:

$$m_\tau = \tau \cdot P(\tau) + \int_0^\tau t \cdot f(t) dt = \tau \cdot P(\tau) - \int_0^\tau t dP(t).$$

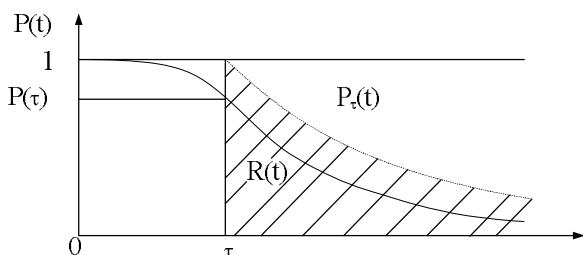


Рис. 1. Пояснення до геометричного сенсу показника  $R(\tau)$

В результаті перетворень отримаємо:

$$m_\tau = \int_0^\tau P(t) dt. \quad (6)$$

Запишемо тотожність

$$\int_0^\infty P(t) dt = \int_0^\tau P(t) dt + \int_\tau^\infty P(t) dt. \quad (7)$$

Так як

$$\int_0^\infty P(t) dt = R(0); \quad \int_\tau^\infty P(t) dt = P(\tau) R(\tau); \quad (8)$$

то, підставляючи (5), (6) і (8) в (7) отримаємо, що

$$R(0) = m_\tau + P(\tau) \cdot R(\tau) \quad (9)$$

або 
$$R(\tau) = (R(0) - m_\tau) / P(\tau). \quad (10)$$

Формула (10) дозволяє за відомою величиною середнього ресурсу  $R(0)$  і витраченого ресурсу  $m_\tau$  знаходити величину середнього ЗР  $R(\tau)$ .

Знайдемо тепер відповідні формули для гамма-процентного ЗР. Відомо, що величина «гамма-процентного залишкового ресурсу  $R_\gamma(\tau)$ » визначається зі співвідношення

$$P(t + \tau) / P(\tau) = 0,01 \cdot \gamma; \quad 0 < \gamma < 100\%. \quad (11)$$

Якщо рівнянню (11) задовольняє кілька коренів, то в якості показника  $R_\gamma(\tau)$  вибирається найменший з них. З формули (3.11) випливає, що  $R_\gamma(0) = R_\gamma$ , тобто гамма-процентний ЗР є узагальненням гамма-процентного ресурсу. Крім того, так як  $P(\tau) \cdot 0,01 \cdot \gamma < 0,01 \cdot \gamma$ , то з формули (11) слідує:

$$R_\gamma(\tau) \geq R_\gamma - \tau. \quad (12)$$

Наведемо основні розрахункові співвідношення показників ЗР при різних законах розподілу напрацювання до ресурсної відмови.

А. Напрацювання до ресурсної відмови – усичений нормальний розподіл з параметрами:  $\mu$  – математичне очікування і  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення напрацювання до відмови,  $t \in (0; \infty)$ . Тоді:

$$P(\tau) = C \cdot \Phi((\mu - \tau) / \sigma); \quad C = [\Phi(\mu / \sigma)];$$

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp(-u^2/2) du;$$

$$P_\tau(t) = \Phi\left(\frac{\mu - \tau - t}{\sigma}\right) / \Phi\left(\frac{\mu - \tau}{\sigma}\right); \quad (13)$$

$$R(\tau) = \mu - \tau + \sigma \cdot f_1\left(\frac{\mu - \tau}{\sigma}\right), \quad (14)$$

де  $f_1(y) = \frac{\phi(y)}{\Phi(y)}$ ,  $\phi(y)$  – похідна  $\Phi(y)$ ,  $y = \frac{\mu - \tau}{\sigma}$ .

В окремому випадку отримуємо:

$$R(0) = \mu + \sigma \cdot \varphi(\mu/\sigma) \cdot (\Phi(\mu/\sigma))^{-1} = \mu + \sigma \cdot C \cdot \exp(-\mu^2/(2\sigma^2)) \cdot (\sqrt{2\pi})^{-1} \quad (15)$$

Функція  $f_1(y)$  табульована, її значення наведені в літературі. Величину гамма-процентного ресурсу отримаємо з рівняння (11)

$$\Phi((\mu - R_\gamma(\tau) - \tau)/\sigma) = 0,01 \cdot \gamma \cdot \Phi((\mu - \tau)/\sigma),$$

або  $R_\gamma(\tau) = \mu - \tau - u_\alpha \cdot \sigma, \quad (16)$

де  $\alpha = 0,01 \cdot \gamma \cdot \Phi((\mu - \tau)/\sigma)$ .

Б. Напрацювання до ресурсного відмови – розподіл Вейбулла  $P(t) = \exp(-(t/\Theta)^\beta)$ ,  $\beta > 1, \Theta > 0$ .

Тоді:

$$P_\tau(t) = \exp(-((t + \tau)^\beta - \tau^\beta)/\Theta^\beta) \quad (17)$$

Знайдемо тепер співвідношення для середнього залишкового ресурсу. маємо:

$$\int_\tau^\infty P(t) dt = \frac{\Theta}{\beta} \int_{(\tau/\Theta)^\beta}^\infty \exp(-u) \cdot u^{(1/\beta)-1} du = \frac{\Theta}{\beta} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta}, \left(\frac{\tau}{\Theta}\right)^\beta\right)$$

Тоді за формулою (4), отримуємо

$$R(\tau) = \frac{\Theta}{\beta} \cdot \exp\left(-\left(\frac{\tau}{\Theta}\right)^\beta\right) \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta}, \left(\frac{\tau}{\Theta}\right)^\beta\right) \quad (18)$$

В окремому випадку отримуємо:

$$R(0) = \frac{\Theta}{\beta} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right) = \Theta \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right), \quad (19)$$

а формулу для гамма-процентного ЗР знайдемо з (11):

$$\exp\left(-\left((t + \tau)/\Theta\right)^\beta\right) = 0,01 \cdot \gamma \cdot \exp\left(-(\tau/\Theta)^\beta\right) = \alpha,$$

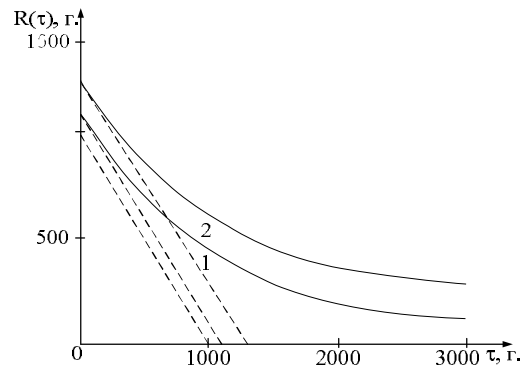
вирішуючи його відносно  $t$ . В результаті отримаємо

$$R_\gamma(\tau) = \Theta \cdot (-\ln \alpha)^{1/\beta} - \tau. \quad (20)$$

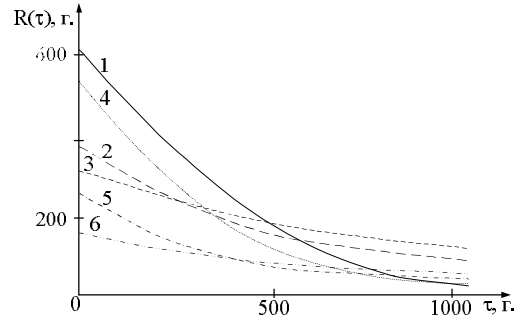
Нижче на рис. 2, 3 наведені графіки залежностей величин  $R(\tau)$  та  $R_\gamma(\tau)$  від величини призначеного ресурсу  $\tau$  для різних функцій розподілу напрацювань до ресурсної відмови і різних параметрів функцій розподілу. Наведені визначення та розрахункові співвідношення характеристик і показників ЗР для відновлюваних виробів являють собою систематизацію відомих в науково-технічній літературі відомостей, їх узагальнення та подальший розвиток. Показано, що відомі в теорії надійності показники довговічності є окремим випадком показників залишкової довговічності.

Отримані розрахункові співвідношення можна використовувати для розрахунків показників залишкового ресурсу КВ РЕС літака, результати яких, в свою чергу, можна використовувати для вирішення завдань продовження ресурсів РЕС літака.

Викладений аналітичний метод розрахунку показників ЗР може бути використаний для вирішення

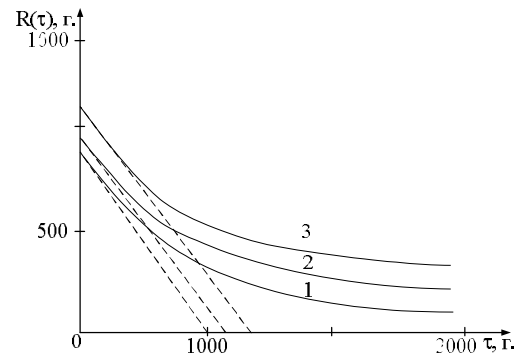


а –  $\sigma = 300$  (кр.1),  $\sigma = 600$  (кр.2),  $\sigma = 900$  (кр.3)

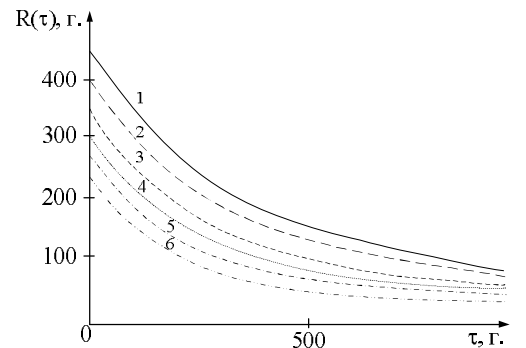


б –  $\gamma = 90\%$ :  $\sigma = 300$  (кр.1),  $\sigma = 600$  (кр.2),  $\sigma = 900$  (кр.3),  
 $\gamma = 95\%$ :  $\sigma = 300$  (кр.4),  $\sigma = 600$  (кр.5),  $\sigma = 900$  (кр.6)

**Рис. 2.** Графіки залежностей  $R(\tau)$  (а) та  $R_\gamma(\tau)$  (б) при усіченому нормальному розподілі напрацювання до ресурсної відмови для різних параметрів.  $\mu = 1000$



а –  $\Theta = 1128,30$  (кр. 1);  $\Theta = 1207,58$  (кр.2);  $\Theta = 1384,29$  (кр.3)



б –  $\gamma = 90\%$  (кр.1-3) та  $\gamma = 95\%$  (кр.4-6);  
 $\Theta = 1128,30$  (кр. 1,4);  $\Theta = 1207,58$  (кр.2,5);  $\Theta = 1384,29$  (кр.3,6)

**Рис. 3.** Графіки залежностей  $R(\tau)$  (а) та  $R_\gamma(\tau)$  (б) при розподілі Вейбулла для різних параметрів:  
а –  $\beta = 2$ ; б –  $\gamma = 90\%$  та  $\gamma = 95\%$

задач знаходження ЗР, для оцінки показників ЗР невідновлюваних виробів за даними експлуатації та, зокрема, виробів електротехніки і радіотехніки, а також при обґрунтуванні призначених термінів служби (ресурсів) ПЕС літака. Для виконання таких розрахунків необхідно мати характеристики щільності розподілу  $f(t)$  напрацювання КВ до відмови або ймовірності безвідмовної роботи  $P(t)$ , уточнені за даними лідерної і підконтрольної експлуатації літака.

### Висновки

1. Обґрунтовано доцільність використання для вирішення завдань продовження ресурсу показників залишкового ресурсу невідновлюваних виробів:

середнього залишкового ресурсу, гамма-процентного залишкового ресурсу, функції розподілу залишкового ресурсу. Показано, що середній залишковий ресурс і гамма-процентний залишковий ресурс є узагальненням відомих показників довговічності: середнього ресурсу і гамма-відсоткового ресурсу. Отримано розрахункові співвідношення для показників залишкового ресурсу для невідновлювальних виробів при різних функціях розподілу напрацювання до ресурсного відмови.

2. Введено поняття залишковий ресурс і залишкова напрацювання для відновлюваних виробів і відповідні показники залишкового ресурсу і залишкової напрацювання. Показано, що для невідновлювальних виробів поняття залишковий ресурс і залишкова напрацювання збігаються.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, М.Д. Кіселичник. Якість, надійність радіоелектронної апаратури: [монографія] / Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, М.Д. Кіселичник; за ред. Л.А. Недоступа. – Львів: Видавництво ЛП, 2013. – 196 с.
2. Бобало Ю.Я. Аналіз методів оцінювання безвідмовності систем сумісно працюючих компонентів електронних пристроїв / Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, О.В. Лазько // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 7 (26). – С. 212–214.
3. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытание на безотказность, М.: Наука, 1985.
4. Кучук, Г.А. Синтез стратифікованої інформаційної структури інтеграційної компоненти гетерогенної складової Єдиної АСУ Збройними Силами України / Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України: науково-технічний журнал. – Х.: ХУ ПС, 2013. – № 3(12). – С. 154-158.
5. Гудков М. В. Методика прогнозування надійності радіоелектронного обладнання при експлуатації авіаційної техніки за станом з контролем параметрів / М.В. Гудков // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 4(24). – С. 32-35.
6. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
7. Чернявський В. М. Застосування непараметричних методів для оцінки рівня надійності авіаційної техніки з низькою інтенсивністю експлуатації / В.М. Чернявський // Збірник наукових праць ХНУПС. – 2012. – № 3(32). – С. 59-63.
8. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними : ДСТУ 3004-95. – [Чинний від 1995-01-25]. – К.: Держспоживстандарт України, 1995. – 51 с.
9. Каштанов В.А. Теория надежности сложных систем /В.А. Каштанов, А.И. Медведев. – 2-е изд, перераб. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 608 с.
10. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускну здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
11. Mathematical models of the failure flow of the aircraft electronic system components / Haievskiy S.V., Hmelevskiy S.I., Boyko A.V., Myschenko T.Yu., Timochko O.O. // *Сучасні інформаційні системи*. 2020. Т. 4, № 2. - С. 34-41.
12. Haievskiy S. Розробка загальних положень з розрахунку показників залишкового ресурсу радіоелектронної системи літака / S. Haievskiy, S. Balakireva, I. Kulakov // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2020. – Т. 2 (60). – С. 3-11. – doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.2.003>.

Received (Надійшла) 22.06.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.08.2020

### Mathematical models for calculation of the residual life indicators of non-restorable parts of aircraft radio electronic system

S. Haievskiy, S. Balakireva, I. Kulakov

**Abstract.** The **subject matter** of the article are the processes of functioning of the radio-electronic system of a modern aircraft, its component parts and functional units as an object for determining and calculating indicators of residual life. The **goal** is the development of the existing mathematical apparatus used to calculate the indicators of the residual life of non-recoverable components of the aircraft radio-electronic system. The **tasks**: to develop mathematical models for calculating the indicators of the residual life of non-recoverable components of the aircraft radio-electronic system. Analyzed **methods** and **models** are: analytical method for calculating residual life indicators, models for indicators of the residual life of a non-recoverable object of a radio-electronic system. The following **results** were obtained: The expediency of using the indicators of the residual life of non-recoverable products for solving the problems of extending the resource is substantiated: the average residual resource, the gamma-percentage residual resource, the distribution function of the residual resource. **Conclusions.** Calculated ratios are obtained for indicators of residual life for non-recoverable products with different distribution functions of operating time to resource failure.

**Keywords:** residual life, residual operating time, aircraft, mathematical model, indicator, electronic system, technical condition.

Ю. О. Данілов<sup>1</sup>, І. К. Келлер<sup>2</sup>, О. В. Задкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Озброєння Командування Сил логістики Збройних Сил України, Київ, Україна

<sup>2</sup> Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА З УРАХУВАННЯМ ВИТРАТ НА РОЗРОБЛЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЮ

**Анотація.** Стаття присвячена вирішенню актуальної науково-практичної задачі визначення раціональних льотно-технічних характеристик і конструктивно-компонувальної схеми літального апарата за критерієм ефективності при фіксованій вартості, який враховує ефективність і витрати на досягнення цієї ефективності. **Метою статті** є розробка методики обґрунтування тактико-технічних характеристик перспективного літального апарата з урахуванням економічного критерію. **Результати.** Завдання технічних вимог та рівня технічної досконалості дозволили визначити в першому наближенні геометричні та масові характеристики літальних апаратів. За розробленою методикою було визначено раціональні льотно-технічні характеристики літального апарата. Проведений ваговий розрахунок літального апарата. **Визначені геометричні та об'ємні розміри** літального апарата. Визначені економічні показники. **Висновки.** Теоретично обґрунтовані тактико-технічні характеристики перспективного літального апарата з урахуванням економічного критерію. Результати можуть бути використані для обґрунтування напрямків розробки перспективних літального апарата.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, критерій ефективності, аеродинамічні характеристики, аеродинамічне компонування.

### Вступ

Основними напрямками модернізації літальних апаратів (ЛА), які були виготовлені переважно в кінці 80-х – на початку 90-х років, що на сьогодні складають основу авіації Збройних Сил України, є підвищення глибини та якості об'єктивного контролю бортових систем і оцінки дій екіпажу літака для забезпечення безпеки польотів; забезпечення відповідності засобів навігації, посадки, зв'язку міжнародним вимогам [1, 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В умовах обмеженого фінансування набуває актуальності прикладна задача проведення системних досліджень щодо раціонального вибору перспективних літальних апаратів. Вирішення цієї задачі неможливе без наявності розвинутого науково-методичного апарату щодо формування технічного обриса перспективних літальних апаратів. Широкий спектр задач порівняльної оцінки альтернативних варіантів при формуванні обриса перспективних літальних апаратів обумовили складність методик оцінювання показників ефективності [3-5]. Визначення раціональних льотно-технічних характеристик (ЛТХ) літальних апаратів є актуальною науково-прикладною задачею [6].

**Метою статті** є розробка методики обґрунтування тактико-технічних характеристик перспективного літального апарата з урахуванням економічних критеріїв.

### Результати досліджень

Завдання визначення раціональних ЛТХ і конструктивно-компонувальної схеми (ККС) літальних апаратів за критерієм ефективності при фіксованій вартості замінюється оптимізацією комбінованого критерію, який враховує ефективність і витрати на досягнення даного рівня ефективності:

$$K = N \times K_{\text{эф}}, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість літальних апаратів в угрупованні при заданих асигнуваннях на створення, експлуатацію;  $K_{\text{эф}}$  – критерій ефективності одного ЛА.

Необхідно одержати максимальне значення критерію, для чого, в свою чергу, необхідно задати технічні вимоги з врахуванням рівня технічної досконалості літальних апаратів аналогічного призначення (коефіцієнти піднімальної сили та лобового опору, коефіцієнти відвалу поляри, аеродинамічні якості по режимам польоту та ін.). Завдання технічних вимог та рівня технічної досконалості дозволяють визначити в першому наближенні геометричні та масові характеристики літальних апаратів.

### 1. Ваговий розрахунок літального апарата

Вихідними даними є такі тактико-технічні вимоги: варіанти навантаження; дальність польоту при заданій швидкості та висоті; розрахункове перевантаження по режимах польоту; максимальна вертикальна швидкість; коефіцієнти піднімальної сили  $C_{ya}$  і лобового опору  $C_{xa}$  на заданих режимах польоту літака-прототипу; стрілоподібність крила і оперення; вага обладнання та ін.

Злітна вага літального апарата [7]:

$$M_0 = \frac{M_{\text{eoo}}}{1 - (\gamma_{\text{пл}} + \gamma_{\text{cy}} + \gamma_n)}, \quad (2)$$

де  $M_{\text{eoo}}$  – вага екіпажа, обладнання та озброєння;  $\gamma_{\text{пл}}, \gamma_{\text{cy}}, \gamma_n$  – питома вага планера, силової установки, палива. Так як вага порожнього ЛА та вага палива при одній і тій же злітній вазі можуть змінюватися, то необхідно задати значення злітної ваги, а потім уточнити її в процесі розрахунку.

Тягоозброєність літального апарата вибирається з таких умов:

а) забезпечення заданої довжини розбігу:

$$\mu = \frac{P_0}{0,9 C_{\text{yавідр}} \rho_0 g L_{\text{розб}}} + 1,1 f_{\text{коч}} + 0,033, \quad (3)$$

де  $C_{\text{yавідр}} = 1,1 \div 1,2$  – коефіцієнт підйомної сили при відриві літального апарата від злітно-посадкової смуги;  $f_{\text{коч}}$  – коефіцієнт тертя - кочення ( $f_{\text{коч}}=0,03$  – бетонувана злітно-посадкова смуга;  $f_{\text{коч}}=0,1$  – ґрунтова злітно-

посадкова смуга);  $L_{розб}$  – довжина розбігу;

б) забезпечення швидкості польоту на заданій висоті:

$$\mu = 4650 M_{розр}^2 C_{xa} / (\bar{P} \rho_0), \quad (4)$$

де  $C_{xa} = C_0 + A_0 \cdot P_0^2 / (294000 M_{розр}^2 \Delta^2)$  – коефіцієнт лобового опору;  $\bar{P} = P/P_0$  – відносна тяга;  $\Delta = \rho/\rho_0$  – відносна щільність повітря;  $A_0$  – коефіцієнт відвалу поляри;  $M_{розр}$  – розрахункове число Маху польоту;

в) з умови перевантаження сталого віражу:

$$\mu = C_x \frac{\rho V^2}{2P_0} + \frac{A n_y^2 2P_0}{\rho V^2}; \quad (5)$$

г) з умови забезпечення вертикальної швидкості:

$$\mu = \left( V_{y \max}^2 C_{x0} / (1,53^2 \bar{P}^3 \cdot M_0 / S) \right)^{1/3}. \quad (6)$$

Тяга силової установки:

$$P_{cy} = \mu M_0, \quad (7)$$

де  $\mu = f_{\max}$  ( $\mu_{розб}$ ,  $\mu_{н}$ ,  $\mu_{вір}$ ,  $\mu_{верт.шв}$ ).

Площа міделя двигуна:

$$F_{M.дв} = \frac{P_{дв}}{12,888}. \quad (8)$$

Відносна площа міделя фюзеляжу:

$$F_{\phi+z} = F_{\phi} + K_M F_{M.дв}, \quad (9)$$

де  $F_{\phi} = 0,15 M_0$  – поперечна площа перетину фюзеляжу;  $K_M = 0,9$  – якщо двигун у фюзеляжі;  $K_M = 1,0$  – якщо двигун на крилі.

Маса крила:

$$M_{кр} = 4 \cdot 10^6 K_1 K_M (1 - \bar{Z}_s)^3 (1 + \bar{Z}_0 \cdot (\eta - 1) / \mu) \times \\ \times \left( 0,9 - 3,5 \sum Z_{si}^2 \cdot (M_{vai} / M_p) \cdot \eta_p M_p \lambda^{3/2} \sqrt{5} \right) / \\ / \left( \bar{c} \cos^2 \chi \cdot 0,5 \right) + (\eta + 2) / (\mu + 0,5) + 0,001 \times \\ \times (13 + 0,333\sqrt{9}) S (1 - \bar{z}_s \eta / (\eta + 1)) + V_2 M_{\max}, \quad (10)$$

де  $\bar{Z}_s = D_{\phi} / \sqrt{S \lambda}$  – відносне положення борта фюзеляжу уздовж усього розмаху крила;  $D_{\phi}$  – діаметр фюзеляжу;  $M_{vai}$  – вага  $i$ -го вантажу;  $\bar{Z}_{si}$  – відносне положення вантажу вздовж борта;  $M_p = 0,9 M_0$  – розрахункова маса ЛА;  $K_M = 1,2$  – коефіцієнт, який враховує матеріал крила.

Маса фюзеляжу:

$$M_{\phi} = 0,001 (0,1 M_0 + 24,5) S_{ом.ф}. \quad (11)$$

Маса оперення (для двокільового ЛА):

$$M_{оп} = 0,051 M_0 - 0,0008 M_0^2 \quad (12)$$

Маса шасі:

$$M_{ш} = 0,056 M_0 - 0,0003 M_0^2. \quad (13)$$

Маса планера:

$$M_{п} = M_{кр} + M_{\phi} + M_{оп} + M_{ш}. \quad (14)$$

Маса двигуна:

$$M_{дв} = (1,37 - 0,002 M_0) f_{дв} 0,175 P_{дв}. \quad (15)$$

Поточна маса:

$$M_{тск} = M_0 - M_0 \iota_{наб}. \quad (16)$$

Маса палива розраховується, виходячи з обраного профілю польоту, що складається з ділянок набору висоти, горизонтального польоту, зниження:

$$M_{пал} = (\gamma_{наб} + \gamma_{zn} + \gamma_{зниж}) M_0, \quad (17)$$

де  $\gamma_{наб} + \gamma_{zn} + \gamma_{зниж}$  – відносні маси палива при наборі висоти, горизонтального польоту та зниженні.

Горизонтальний політ:

$$\gamma_{zn} = 1 - e^{\beta}, \quad (18)$$

де  $\beta = \left( \frac{C_{тум} L_{zn} (C_{ко} \rho V_{zn}^2) + 2 A_0 P_0}{2 P_0} \right) / \left( \frac{2 A_0 P_0}{\rho V_{zn}^2} \right) / (3,6 V_{zn})$ ;  $C_{пит}$  –

питома витрата палива при горизонтальному польоті;  $L_{zn}$  – дальність горизонтального польоту;  $V_{zn}$  – швидкість літального апарата в горизонтальному польоті.

Набір висоти:

$$\gamma_{наб} = \frac{0,0035 (H_k - H_0) (1 - 0,03m)}{1 - 0,004 (H_k - H_0)}, \quad (19)$$

де  $m$  – ступінь двоконтурності двигуна;  $H_0$ ,  $H_k$  – початок і кінець набору висоти.

Формули (1-19) є основою для складання вагового зведення літального апарата.

## 2. Визначення геометричних і об'ємних розмірів

Геометричні і об'ємні розміри визначаються відповідно до [8]: площа крила –  $S_{кр} = 900 \cdot M_0 / P_0$ ; розмах крила –  $\ell_{кр} = \sqrt{\lambda S_{кр}}$ ; подовження крила –  $\lambda_{кр} = \ell_{кр}^2 / S_{кр}$ ; довжина фюзеляжу дорівнює  $L_{\phi} = 6,2 + 0,835 M_0 - 0,012 M_0^2$ .

Омивана площа всього літального апарата:

$$S_{ом} = S_{ом.кр} + S_{ом.зо} + S_{ом.во}, \quad (20)$$

де  $S_{ом.кр} = \sqrt{\frac{F_{\phi+z}}{0,785}} \left( \frac{2}{\lambda(1+1/\eta)} + \frac{2}{\lambda\eta(1+1/\eta)} \right)$ ;  $S_{ом.зо} = 0,2091 - 0,00033 S_{ом.кр}$ ;  $S_{ом.во} = 0,18 - 0,0005 S_{ом.кр}$ .

Наявні об'єми літака:

а) об'єм фюзеляжу:

$$W_{\phi+z} = 0,62 F_{\phi+z} \ell_{\phi} - 0,0008 F_{\phi+z}^2 \ell_{\phi}^2; F_{\phi+z} \ell_{\phi} > 40 \text{ м}^3;$$

$$W_{\phi+z} = 1,08 F_{\phi+z} \ell_{\phi} - 0,0127 F_{\phi+z}^2 \ell_{\phi}^2; F_{\phi+z} \ell_{\phi} \leq 40 \text{ м}^3;$$

б) об'єм крила:

$$W_{кр} = 0,44 \kappa \bar{c} S_{ом.кр}^{1,5} / \sqrt{\lambda}, \quad (21)$$

де  $\kappa = (\eta_e + \eta_c 2\eta_e + 2) / ((\eta_e + 1)(\eta_c + 1))$  – коефіцієнт, який враховує вплив звуження по хордах і товщині крила;  $\eta_e = e_{корн} / e_{кін}$  – звуження по хордах крила;  $\eta_c = \bar{c}_{корн} / \bar{c}_{кін}$  – звуження по товщині крила;  $e_{корн}$ ,  $e_{кін}$  – кінцева і коренева хорда крила;  $\bar{c}_{корн}$ ,  $\bar{c}_{кін}$  – кінцева і коренева товщина крила;



в) об'єм всього літального апарата:

$$W_c = W_{\phi+z} + W_{kp} + W_{zo} + W_{eo}. \quad (22)$$

Потрібні об'єми літального апарата:

а) об'єм палива:

$$W_{mn} = 1,38 M_n; \quad (23)$$

б) об'єм двигуна:

$$W_{\delta\phi n} = M_{\delta\phi} / 0,375; \quad (24)$$

в) об'єм для шасі:

$$W_{un} = M_{un} / 0,5; \quad (25)$$

г) об'єм обладнання:

$$W_{on} = M_o / 0,35; \quad (26)$$

д) сумарний об'єм:

$$W_{заг} = W_{\Sigma nom} / W_{сам}. \quad (27)$$

### 3. Визначення економічних показників

Вартісний розрахунок є невід'ємною частиною проектування. Вихідними даними для розрахунку є:

– тактико-технічні характеристики (які відображають ступінь досконалості та складності конструкції);

– виробничі показники (характеризують умови виготовлення виробу).

Усі величини підсумкових вартостей мають розмірність тисяча умовних одиниць. Вартість повних витрат на один літальний апарат за весь час життєвого циклу:

$$C_{\Sigma LA} = C_{LA}^P + C_{LA}^B + C_{LA}^E + C_{aep}, \quad (28)$$

де  $C_{LA}^P$ ,  $C_{LA}^B$ ,  $C_{LA}^E$ ,  $C_{aep}$  – витрати на розробку, виготовлення, експлуатацію й аеродромні витрати.

Визначення витрат на розробку:

$$C_{LA1z}^P = C_{LA1z}^P + C_{CV1z}^P, \quad (29)$$

де  $C_{LA1z}^P$  – витрати науково-дослідну роботу (НДР) і дослідно-конструкторську роботу (ДКР) при розробці та проектуванні літального апарата (планера, обладнання та ін. без силової установки), що припадає на одну годину польоту ЛА;  $C_{CV1z}^P$  – витрати на НДР і ДКР при розробці й проектуванні силової установки до ЛА, що доводяться на одну годину польоту літального апарата.

В свою чергу:

$$C_{LA1z}^P = m_n^{0,62} V_{max}^{0,25} n_{do}^{0,52} K_{\tau} \frac{(1 + K_{нпр})}{N_{LA} H_{LA} T_{LA}}, \quad (30)$$

$$C_{CV1z}^P = 160 n_{\delta\phi}^{-0,62} \left( \frac{m_{cy}}{n_{\delta\phi}} \right)^{0,6} n_{do}^{0,45} K_{\tau} \frac{(1 + K_{нпр})}{N_{LA} H_{LA} T_{LA}}, \quad (31)$$

де  $m_n$  – маса пустого літального апарата, кг;  $V_{max}$  – максимальна швидкість польоту, км/год;  $n_{do}$  – кількість дослідних зразків (2-5);  $N_{LA}$  – кількість ЛА в партії;  $H_{LA}$  – середньорічний наліт одним літальним апаратом;  $T_{LA}$  – термін служби літального апарата;  $n_{\delta\phi}$  – кількість двигунів на одному літальному апараті;  $m_{cy}$  – маса силової установки, кг;  $K_{нпр} = 0,16 + 0,44 e^{-0,13(2020 - \tau)}$ ;  $K_{\tau} = (1 + 0,01\alpha)^{\tau - 2020}$  – коефіцієнт зниження собівартості за результатом росту виробництва праці;  $\alpha$  – середньорічний відсоток

зниження собівартості ДКР, внаслідок удосконалення процесу виробництва ( $\alpha \approx 2...5\%$ );  $\tau_0$  – календарний час досліджень, рік.

Визначення витрат на виготовлення літального апарата (без силової установки) на одну годину польоту:

$$C_{LA\Sigma F} = C_{LA1z}^E + C_{CV1z}^E, \quad (32)$$

де  $C_{LA1z}^E$  – витрати на виготовлення ЛА (без силової установки) на одну годину польоту;  $C_{CV1z}^E$  – витрати на виготовлення силової установки.

Витрати на виготовлення ЛА складають

$$C_{LA}^B = \frac{I}{H_{LA} T_{LA} \left( C_M + C_{ПГВ} + C_{OC} + C_{ЗП} + C_{ЗР} + C_{УВ} \right)}, \quad (33)$$

де  $C_M$  – витрати на матеріали (сировина та напівфабрикати), тис.ум.од.;  $C_{ПГВ}$  – вартість закуплених готових виробів, тис.ум.од.;  $C_{OC}$  – вартість спеціального оснащення, тис.ум.од.;  $C_{ЗП}$  – витрати на заробітну платню, тис.ум.од.;  $C_{ЗР}$  – загальнозаводські витрати, тис.ум.од.;  $C_{УВ}$  – умовні витрати, тис.ум.од.;  $C_M = (2,7 + 9,68 N_{LA}^{-0,08}) (M_{ПЛ} 1000)^{1,78} M_{max} 10^{-6}$ ,  $N_{LA}$  – кількість ЛА в партії;  $M_{ПЛ}$  – маса планера;  $C_{ПГВ} = (-250 + 0,05 V_{max} + 0,5 M_n) N^{-0,03}_{LA}$ ,  $C_{OC} = (3300 + 0,3 M_n - 2,6 \cdot 10^{-7} M_{ПЛ}^2) \times 1,05^{N_{дв}} N^{-1}_{LA}$ ,  $C_{ЗП} = (0,0278 + 0,156 N_{LA}^{-0,32}) M_n^{0,77}$ ,  $C_{ЗР} + C_{УВ} = 2,4 C_{ЗП}$ .

Витрати на виготовлення силової установки на 1 годину польоту:

$$C_{CV1z}^E = 177 N_{\delta\phi}^{-0,33} t_{\delta\phi}^{0,18} m_{cy}^{0,31} \times P_{max}^{0,38} \frac{1}{K_{\delta\phi} T_{\delta\phi}}, \quad (34)$$

де  $N_{\delta\phi}$  – кількість виготовлених двигунів;  $m_{cy}$  – маса силової установки, кг;  $t_{\delta\phi}$  – час освоєння двигуна у виробництві, квартал;  $P_{max}$  – максимальна тяга силової установки;  $K_{\delta\phi}$  – коефіцієнт, що враховує продовження терміну служби двигуна за рахунок капремонтів;  $T_{\delta\phi}$  – призначений ресурс нового двигуна.

В свою чергу, кількість виготовлених двигунів

$$N_{\delta\phi} = a v N_{LA}, \quad (35)$$

де  $N_{LA}$  – загальна кількість випущених літальних апаратів, шт.;  $a$ ,  $v$  – емпіричні коефіцієнти, що враховують необхідне співвідношення між випуском літальних апаратів та двигунів.

Сумарні витрати на виготовлення ЛА:

$$C_{\Sigma LA1z}^B = C_{LA1z}^B + C_{CV1z}^B. \quad (36)$$

Визначення експлуатаційних витрат на 1 годину польоту розраховується як:

$$C_{LA1z}^E = \frac{C_{ПММ}}{H_{LA}} + \frac{C_{ТО} + C_{КАП.Р} + C_{ПР.Р}}{R_{LA}} + \frac{C_{ЛПС} + C_{ГТС}}{n_{LA} H_{LA}}, \quad (37)$$

де  $C_{ПММ}$  – річні витрати на паливо-мастильні матеріали (ПММ), що приходять на один ЛА;  $C_{то}$ ,  $C_{пр.р}$ ,  $C_{кап.р}$  – витрати на технічне обслуговування, ремонт, за цикл експлуатації літального апарата;  $R_{LA}$  – середньотехнічний ресурс літального апарата.

Річні витрати на ПММ складають

$$C_{\text{пмм}} = 11,5 \mu^{0,95} + 33 \cdot 10^{-5} M_o, \quad (38)$$

де  $\mu$  – стартова тягоозброєність;  $M_o$  – злітна маса літального апарата, кг.

Вартість технічного обслуговування:

$$C_{\text{ТО}} = 0,076 M_o^{0,75} + C_{\text{зч}} + C_{\text{И}}, \quad (39)$$

де  $C_{\text{зч}} = 0,1 C_{\text{ЛА}}^B T_{\text{ЛА}}$  – витрати на закупівлю запасних частин і витратних матеріалів при технічному обслуговуванні за весь цикл експлуатації, чол./год;  $C_{\text{И}} = 0,041 C_{\text{ЛА}}^B T_{\text{ЛА}}$  – витрати на закупівлю контрольно-перевірочної апаратури (КПА), інструмента, засоби наземного-обслуговування.

Відповідно,

$$C_{\text{КАП,Р}} = 13 \cdot 10^{-7} t_p^{-0,4} N_P^{-0,88} M_{\text{П}}^{1,2} V_{\text{max}} n_{\text{КР}}, \quad (40)$$

$$C_{\text{ПР,Р}} = 8,5 \cdot 10^{-7} t_p^{-0,4} N_P^{-0,8} M_{\text{П}}^{1,2} V_{\text{max}} n_{\text{ПР}}, \quad (41)$$

де  $t_p$  – час освоєння виробу в ремонті, квартал;  $N_P$  – програма ремонту, шт.;  $M_{\text{П}}$  – маса порожнього літального апарата, кг;  $V_{\text{max}}$  – максимальна швидкість літального апарата, км/год;  $n_{\text{ПР}}$ ,  $n_{\text{КР}}$  – кількість ремонтів за період експлуатації.

Визначення аеродромних витрат розраховуються таким чином:

$$C_{\text{аер}} = C_{\text{ІАЗ}} + C_{\text{АТЗ}} + C_{\text{НЕУ}} + C_{\text{ТЕ}} 1 / (P_{\text{ЛА}} H_{\text{ЛА}}), \quad (42)$$

де  $C_{\text{ІАЗ}}$ ,  $C_{\text{АТЗ}}$ ,  $C_{\text{НЕУ}}$  – річні витрати на розробку, виготовлення засобів інженерно-авіаційного забезпечення (ІАЗ), аеродромно-технічного забезпечення (АТЗ);  $C_{\text{ТЕ}}$  – річні витрати на грошово-речове утримання служб.

Слід враховувати, що:

$$C_{\text{ІАЗ}} + C_{\text{АТЗ}} + C_{\text{НЕУ}} = 1,4 L_{\text{зпс}}^{0,8}, \quad (43)$$

$$C_{\text{ТС}} = C_{\text{ЛПС}} (1 + 0,01 \gamma_{\text{ітс}}), \quad (44)$$

де  $\gamma_{\text{ітс}}$  – відсоток річних витрат на утримання інженерно-технічного складу відносно років.

За викладеною вище методикою можуть бути визначені раціональні ЛТХ та конструктивні параметри перспективного літального апарата.

### Висновок

Теоретично обґрунтовані тактико-технічні характеристики перспективного літального апарата з урахуванням економічного критерію. Результати можуть бути використані для обґрунтування напрямків розробки перспективних та модернізації існуючих літальних апаратів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Олехнович О. В. Модернізація літаків Повітряних Сил. [Електронний ресурс] — Режим доступу до сайту: <https://armyinform.com.ua/2020/09/modernizaciya-litakiv-povityrianyh-syl-kurs-na-povne-onovlennya-avioniky/>.
2. Леонтьєв О. Б. Методичний підхід до обґрунтування кількісно-якісного складу перспективних Збройних Сил України на етапах стратегічного планування їх розвитку / О. Б. Леонтьєв, В. О. Нерубацький, О. В. Нікіфоров, Є. Б. Смірнов // Збірник наукових праць ОНДІ ЗСУ. – 2005. – Вип. 2 (2). – С. 40–55
3. Мітрахович М. М. Складні технічні системи. Системне математичне забезпечення проектних рішень / Мітрахович М. М. – К.: Нічлава, 1998. – 184 с.
4. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>.
5. Mozhaiev, M., Kuchuk, N. and Usatenko, M. (2019), "The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, (4 (10), pp. 134-140. doi: 10.30837/2522-9818.2019.10.134
6. Горощенко Б. Г. Эскизное проектирование самолётов / Б. Г. Горощенко, В. А. Дьяченко, Н. М. Фадеев – М.: Машиностроение. 1970. – 89 с.
7. Проектирование самолётов / Под ред. Егера С.М. – М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.
8. Терещенко Ю. М. Інтеграція авіаційних силових установок і літальних апаратів / Терещенко Ю. М., Кулик М. С., Панін В. В. – К.: Нац. авіац. ун-т. – 2009. – 344 с.

Received (Надійшла) 14.07.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.08.2020

### Method of determination of rational parameters of the aircraft with taking into account the costs of development and operation

Yu. Danilov, I. Kellier, O. Zadkova

**Abstract.** As Ukraine has a strong potential in the development and production of its own aircraft, substantiation of its tactical and technical characteristics is an urgent scientific and practical task. The article is devoted to solving the current scientific problem of determining the rational flight characteristics and structural-layout scheme of the aircraft by the criterion of combat effectiveness which at a fixed cost, replaced by optimization of the combined criterion, takes into account efficiency and cost to achieve this efficiency. The method of determining the economic criterion for all stages of the life cycle of the aircraft is given. According to the described method, rational flight technical and design parameters of a promising aircraft were determined. This made it possible to substantiate the tactical and technical characteristics of a promising aircraft, taking into account the economic criterion. Tasks of technical requirements and level of technical perfection allow to define in the first approximation geometrical and mass characteristics of the aircraft. The weight calculation of the aircraft is given. The substantiation of tactical and technical characteristics of the perspective aircraft taking into account the economic criterion is presented. The weight calculation of the aircraft was performed. The geometric and volumetric dimensions of the aircraft are determined. Economic indicators are defined. According to the above method, the rational flight characteristics and design parameters of a promising aircraft were determined. The results can be used to justify the development of promising and modernization of existing aircraft complexes.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, aerodynamic characteristics, aerodynamic layout.

М. Й. Заполовський, М. В. Мезенцев

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## СИНТЕЗ КЕРУВАНЬ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗМІННОГО СТРУМУ

**Анотація.** Завдання синтезу системи керування тяговим електроприводом змінного струму є складовою частиною загального завдання створення оптимальної системи керування транспортними засобами, що забезпечує виконання графіка руху у відповідності заданому критерію якості. **Метою даної роботи** є розроблення математичних моделей для синтезу системи керування електроприводом змінного струму з використанням алгоритму векторного управління, синтез управлінь та проведення досліджень їх моделей, отримання якісних характеристик роботи системи керування в процесі моделювання з використанням пакету MATLAB. Розглянуті питання синтезу систем керування тяговим електроприводом змінного струму дизель-поїзда та їх дослідження за допомогою математичних моделей, які реалізовані в пакеті MATLAB. Проведено огляд літературних джерел на задану тематику та аналіз існуючих підходів до розв'язання задач синтезу систем керування у даній галузі, зокрема систем керування з використанням алгоритмів векторного управління. Виконано синтез управлінь, побудовані математичні моделі досліджуваних об'єктів керування, проведено моделювання їхнього функціонування. Отримані аналітичні співвідношення, які можуть бути використані для розробки структури САП електроприводу дизель-поїзда і розрахунку її параметрів при заданій критерію якості з урахуванням певного завантаження дизель-поїзда. Синтезовані закони управління забезпечують стійкий розгін дизель-поїзда в різних точках тягової характеристики і при цьому виконуються вимоги щодо точності приведення об'єкта керування в задану точку фазового простору і якості перехідних процесів.

**Ключові слова:** синтез систем керування, електропривод змінного струму, дизель-поїзд, алгоритми векторного управління, аналітичні співвідношення, математична модель, закони управління.

### Вступ

Завдання синтезу системи керування тяговим електроприводом змінного струму є складовою частиною загального завдання створення оптимальної системи керування транспортними засобами, що забезпечує виконання графіка руху у відповідності заданому критерію якості. Останніми роками вирішення цих завдань пропонується виконувати з використанням сучасних комп'ютерних технологій, в основу яких покладено методи математичного моделювання, аналізу і синтезу складних технічних систем. Тому розробка оптимальних систем керування та моделей для їх дослідження є актуальною задачею.

**Постановка задачі і аналіз відомих публікацій.** На сьогоднішній день наряду з частотним способом керування електроприводом змінного струму все більшої уваги приділяється розробкам систем керування на основі алгоритмів векторного управління [1–9]. Ці алгоритми активно впроваджуються у високоякісних електроприводах трифазного струму. В алгоритмах керування закладена ідея орієнтування потоку асинхронного двигуна [2, 4, 8, 9]. Напруги статора (керуючі впливи) системи рівнянь (математичної моделі) трифазного асинхронного двигуна як в рухомій, так і нерухомій системі координат визначаються по рівняннях векторного управління.

Рішення задачі розроблення оптимальної системи керування електроприводом змінного струму в першу чергу пов'язане зі створенням нелінійних математичних моделей із врахуванням особливостей використання того чи іншого методу синтезу управлінь, критеріїв оцінки якості функціонування системи керування, проведенням комплексних досліджень динаміки електромеханічної системи електроприводу. Для рішення завдань оптимального керування присвячено значне число публікацій [6],

де для синтезу використовується математичне моделювання, сучасні методи теорії автоматичного керування та оптимізації, комп'ютерні технології. В [6] пропонується ряд методів синтезу управлінь та математичні моделі електроприводу змінного струму, які можуть бути використані при розробці систем управління з урахуванням вибраного критерію оптимальності. Як правило, задовільний результат отримується при синтезі оптимальних систем керування для об'єктів, які описуються системою диференціальних рівнянь не вище третього порядку. Для систем вищих порядків, а також нелінійних моделей, можливо використовувати комбінований метод знаходження управлінь. Він зводиться до наступного [9]. На першому етапі з використанням спрощеної моделі електроприводу знаходиться загальний вид управлінь. На другому – задаються закони можливих управлінь та в процесі дослідження уточнюються їх види та параметри системи керування за допомогою повної математичної моделі.

**Метою роботи** є розроблення математичних моделей для синтезу системи керування електроприводом змінного струму з використанням алгоритму векторного управління, синтез управлінь та проведення досліджень їх моделей, отримання якісних характеристик роботи системи керування в процесі моделювання з використанням пакету MATLAB.

### Основна частина

Вихідними змінними для даного об'єкту управління є швидкість руху  $V$  і пройдений шлях  $S$ . За відсутності боксування швидкість руху пропорційна кутовій електричній швидкості обертання ротора двигуна  $\omega$ . Рівняння руху має вигляд [1]:

$$\frac{d\omega}{dt} = K_1(M_t - M_c), \quad (1)$$

де  $M_t$  – тяговий момент дизель-поїзда;  $K_1 = p/J_t$ ;  
 $J_t$  – момент інерції дизель-поїзда;  $M_c$  – момент  
 опору руху, який згідно правил тягових розрахунків,  
 знаходиться згідно виразу:

При номінальному завантаженні :

$$M_c = 1299(1.1 + 0.012 * 0.1545 \omega) \text{ (Нм)},$$

$$\text{або } M_c = 1299(1.1 + 0.012 * 0.1545 \omega) \text{ (Нм)}. \quad (2)$$

За умови, що тяговий момент дизель-поїзда  
 здійснюють чотири двигуни, то рівняння руху ма-  
 тиме вигляд:

$$\frac{d\omega}{dt} = K_1(4M_d * i - M_c),$$

де  $M_d$  – електромагнітний момент двигуна;  $i$  – пе-  
 редавальне число редуктора ( $i = 3.69$ ).

З урахуванням рівняння (2), отримаємо:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= K_1(K_2 M_d - 1429 - 2.41\omega) = \\ &= K_1(K_2 M_d - K_3 - K_4\omega), \end{aligned} \quad (3)$$

де  $K_2 = 14.76$ ;  $K_3 = 1429$ ;  $K_4 = 2.41$ .

$$\text{або } \frac{d\omega}{dt} = K_5 M_d - K_6 \omega - K_7, \quad (4)$$

де  $K_5 = K_1 K_2 = 0.000915$ ;  $K_6 = K_1 K_4 = 0.00015$ ;  
 $K_7 = K_1 K_3 = 0.089$ .

Можемо записати:

$$\frac{dX_1}{dt} = K_5 M_d - K_6 X_1 - K_7. \quad (5)$$

В результаті отримали диференціальне рівняння  
 першого прядку, яке описує динаміку руху дизель-  
 поїзда при номінальному завантаженні. В якості  
 управління виступає електромагнітний момент тя-  
 гового двигуна  $M_d$ . Для його визначення викорис-  
 таємо модель тягового двигуна у вигляді системи  
 диференціальних рівнянь, де для формування напруги  
 живлення та її частоти використовується алгоритм  
 векторного управління.

Згідно [4, 9], за умови, якщо швидкість обертан-  
 ня координат  $\omega_k$  співпадає із швидкістю вектора  
 потоку ротора  $\omega_\psi$  ( $\omega_k = \omega_\psi$ ), то вектор потокозчеп-  
 лення ротора  $\Psi_r$  відображається на вісі 1 своїм мо-  
 дулем  $\Psi_{rm}$ , а його проекція на вісь 2 дорівнює нулю  
 і рівняння, що описують динаміку електромагнітних  
 процесів тягового двигуна, приймають вигляд [1, 2]:

$$U_{s1} = \frac{d\Psi_{s1}}{dt} - \Psi_{s2}\omega_\psi + R_S I_{s1}; \quad (6)$$

$$U_{s2} = \frac{d\Psi_{s2}}{dt} + \Psi_{s1}\omega_\psi + R_S I_{s2}; \quad (7)$$

$$0 = \frac{d\Psi_{rm}}{dt} + R_R I_{r1}; \quad (8)$$

$$0 = (\omega_\psi - p\omega)\Psi_{rm} + R_R I_{r2}; \quad (9)$$

$$M_d = \frac{mpK_r}{2} \Psi_{rm} I_{s2}, \quad (10)$$

де  $\Psi_{rm}$  – модуль вектора потоку ротора;  $I_{s1}$ ,  $I_{s2}$ ,  
 $I_{r1}$ ,  $I_{r2}$  – відповідно проекції на вісі координат  
 струмів статора і ротора;  $R_S$ ,  $R_R$  – відповідно акти-  
 вні опори обмоток статора і ротора ТАД;  $m$  – число  
 фаз;  $p$  – число пар полюсів;  $K_r$  – коефіцієнт зв'язку  
 ротора;  $\omega$  – швидкість обертання ротора;  $\omega_s$  – шви-  
 дкість вектора напруги статора;  $\omega_\psi$  – швидкістю  
 вектора потоку ротора.

Використовуючи рівняння зв'язку [2, 3]

$$\Psi_r = I_r L_r + I_s L_m; \quad \Psi_s = I_s L_s + I_r L_m,$$

отримаємо:

$$U_{s1} = \frac{dI_{s1}}{dt} L_s' + K_r \frac{d\Psi_{r1}}{dt} - I_{s2} L_s' \omega_\psi + R_S I_{s1}; \quad (11)$$

$$U_{s2} = \frac{dI_{s2}}{dt} L_s' + I_{s1} L_s' \omega_\psi + K_r \Psi_{rm} + R_S I_{s2}; \quad (12)$$

$$0 = \frac{d\Psi_{rm}}{dt} + \frac{R_r}{L_r} \Psi_{rm} - I_{s1} K_r R_r; \quad (13)$$

$$0 = \beta \Psi_{rm} - I_{s2} K_r R_r; \quad (14)$$

$$M_d = (mpK_r/2) \cdot \Psi_{rm} I_{s2}, \quad (15)$$

де  $L_s' = L_s - L_m^2/L_r$ ,  $K_r = L_m/L_r$ .

Використовуючи рівняння (11) і (12) і рівняння  
 зв'язку для системи управління з регулюванням на-  
 пруги живлення, знаходимо співвідношення, за до-  
 помогою яких визначаються проекції напруги жив-  
 лення ТАД по кожній із вісей при відомій її частоті.

$$U_{s1} = R_S I_{s1} - I_{s2} L_s' \omega_\psi; \quad (16)$$

$$U_{s2} = R_S I_{s2} + \omega_\psi \Psi_{rm} (L_s'/L_m + K_r). \quad (17)$$

Момент тягового двигуна  $M_d$  знаходиться згі-  
 дно рівняння (15) по відповідним значенням потоко-  
 зчеплення  $\Psi_{rm}$  і струму  $I_{s2}$ . Для визначення пото-  
 козчеплення  $\Psi_{rm}$  використаємо диференціальне рів-  
 няння (13). Тяговий момент, як управління в рівнян-  
 ні (5), визначається фазовою змінною  $\Psi_{rm}$  і проєк-  
 цією вектора струму статора – струмом  $I_{s2}$ .

Змінна  $\Psi_{rm}$ , згідно диференціального рівняння  
 (13), визначається струмом  $I_{s1}$ . В результаті, в якос-  
 ті управліннь, можемо вибрати проєкції вектора  
 струму статора – струми  $I_{s1}$  і  $I_{s2}$ .

З урахуванням динамічних процесів для визна-  
 чення проєкції потоку ротора  $\Psi_{rm}$  використаємо  
 рівняння (13) у вигляді:

$$\frac{d\Psi_{rm}}{dt} = -\frac{R_r}{L_r} \Psi_{rm} + I_{s1} \frac{L_m R_r}{L_r}. \quad (18)$$

При заданих параметрах ТАД отримаємо:

$$\frac{d\Psi_{rm}}{dt} = -0.771 \Psi_{rm} + 0.0668 I_{s1}. \quad (19)$$

Аналогічно із рівнянням (5) рівняння (19) для оптимізаційної моделі запишемо у вигляді:

$$\frac{dX_2}{dt} = -0.771X_2 + 0.0668I_{s1}. \quad (20)$$

В результаті, для синтезу управлінь об'єкт дослідження можливо представити математичною моделлю у вигляді системи диференціальних рівнянь другого порядку:

$$\dot{X}_1 + a_{11}X_1 - a_{12}X_2U_1 + 0.089 = 0, \quad (21)$$

$$\dot{X}_2 + a_{21}X_2 - a_{22}U_2 = 0. \quad (22)$$

де  $X_1, X_2, \dot{X}_1, \dot{X}_2$  – відповідно фазові змінні та їх похідні;  $U_1, U_2$  – управління;  $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$  – коефіцієнти, які визначаються параметрами системи.

Для системи, яка досліджується:

$$X_1 = \omega; X_2 = \Psi_{rm}; a_{11} = 0.00015; a_{12} = 0.004; \\ a_{21} = 0.771; a_{22} = 0.068; U_1 = I_{s2}; U_2 = I_{s1}; m=3; \\ p=3; k_r = 0.982; L_m = 0.0917 \text{ Гн.}$$

Допустимі межі зміни процесів (управлінь) в процесі розгону дизель-поїзда.

Номінальний момент ТВД – 4800 Нм.

Робочий (можливий) діапазон зміни величини ковзання –  $\beta = (0 \div 12) 1/\text{сек}$ .

Діапазон зміни потокозчеплення  $\Psi_{rm}$  можливо визначити, використовуючи рівняння (14) і (15). Виходячи із них слідує:

$$\Psi_{rm}^2 = 2M_d R_r / (\beta m p).$$

Тоді діапазон зміни  $\Psi_{rm} = (1.6 \div 16)$  (В).

Робочий діапазон зміни потокозчеплення становить:  $\Psi_{rm} = (1.6 \div 16.0)$  В. При цьому струм  $I_{s2}$ , а значить і максимальне значення управління  $U_1$ , становить 2444 (А). Діапазон зміни управління  $U_2$ , що відповідає в дійсності струму  $I_{s1}$ , можливо визначити за допомогою рівняння (13), розглядаючи його як сталий процес, тобто:

$$\frac{R_r}{L_r} \Psi_{rm} - I_{s1} K_r R_r = 0, \text{ тоді } I_{s1} = \frac{\Psi_{rm}}{k_r L_r} \approx 70 \text{ (А)}.$$

Оскільки математична модель об'єкта з використанням алгоритму векторного управління за певних обмежень може бути представлена системою диференціальних рівнянь другого порядку (рівняння (21) – (22)), то для синтезу управлінь пропонується використати один з методів варіаційного числення – рішення загальної задачі Лагранжа.

Використовуючи метод варіаційного числення, як рішення загальної задачі Лагранжа, математична модель об'єкта задається у вигляді системи диференціальних рівнянь у вигляді:

$$\dot{X}_j - \psi_j(X_1, X_2, \dots, X_n, U_j) = 0, \quad (23)$$

де  $X_j$  – змінні співвідношення;  $U_j$  – управління, відомі початкові і кінцеві стани:  $X_j(0), X_j(T)$ .

Заданий критерій оптимальності:

$$J = \int_{t_0}^T G(X_1, X_2, \dots, X_n, U_j) dt. \quad (24)$$

Відомі області допустимих управлінь.

Рівняння об'єкту розглядаються як рівняння зв'язків в загальній задачі Лагранжа варіаційного числення. Критерієм оптимальності є функціонал, що мінімізується.

Якщо на управління і стани ніяких обмежень не накладено, то рішення задачі оптимізації шукається по аналогії з методами варіаційного числення. З цією метою складається допоміжний функціонал:

$$J_1 = \int_{t_0}^T [G + \sum_{j=1}^n \lambda_j(t)(\dot{X}_j - \psi_j)] dt = \int_{t_0}^T G_1 dt. \quad (25)$$

Відносно функцій  $U_j, X_j, \lambda_j$  складаються рівняння Ейлера:

$$\frac{\partial G_1}{\partial U_i} - \frac{d}{dt} \frac{\partial G_1}{\partial \dot{U}_i} = 0. \quad (26)$$

Тут в рівнянні (26) під  $U_i$  розуміються функції  $U_j, X_j, \lambda_j$ . В результаті отримуємо систему рівнянь по числу невідомих  $U_j(t), X_j(t), \lambda_j(t), j = \overline{1, n}$ .

Розглянемо синтез управлінь за допомогою моделі оптимізації відносно енергетичних витрат при розгоні дизель - поїзда за заданий час і виконання граничних умов по швидкості і пройденому шляху.

Функціонал, що мінімізує енергетичні витрати, можливо задати у вигляді:

$$J = \int_{t_0}^T (U_1^2 + U_2^2) dt, \quad (27)$$

де  $U_1, U_2$  – управління;  $t_0, T$  – початковий та кінцевий терміни часу розгону  $t$ . Тоді нова підінтегральна функція  $G_1$  описується співвідношенням:

$$G_1 = (U_1^2 + U_2^2)t + \lambda_2 (\dot{X}_2 + a_{21}X_2 - a_{22}U_2) + \\ + \lambda_1 (\dot{X}_1 + a_{11}X_1 - a_{12}X_2U_1 + 0.089). \quad (28)$$

На підставі рівняння Ейлера (26) складемо співвідношення для знаходження рівнянь  $U_1, U_2$ :

$$\text{для } U_1: \quad \frac{\partial G_1}{\partial U_1} = 2U_1t - a_{12}\lambda_1 X_2 = 0. \quad (29)$$

$$\text{для } U_2: \quad \frac{\partial G_1}{\partial U_2} = 2U_2t - a_{22}\lambda_2 = 0. \quad (30)$$

Тоді управління  $U_1, U_2$  знаходяться як:

$$U_1 = a_{12}\lambda_1 X_2 / 2t; \quad (31)$$

$$U_2 = a_{22}\lambda_2 / 2t. \quad (32)$$

Невідомими є  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$ .

Для визначення  $\lambda_1$  та  $\lambda_2, X_1$  та  $X_2$  складемо рівняння Ейлера згідно (26).

$$\frac{\partial G}{\partial \lambda_1} = \dot{X}_1 + a_{11}X_1 - a_{12}X_2U_1 + 0.089 = 0; \quad (33)$$

$$\frac{\partial G}{\partial \lambda_2} = \dot{X}_2 + a_{21}X_2 - a_{22}U_2 = 0. \quad (34)$$

В результаті отримали аналогічні співвідношення, що відповідають початковим рівнянням (21), (22) для знаходження невідомих  $X_1$  і  $X_2$  та описують динаміку досліджуемого об'єкта управління.

Аналогічно знаходяться рівняння для визначення невідомих  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$ .

$$\frac{\partial G}{\partial X_1} - \frac{d}{dt} \frac{\partial G}{\partial \dot{X}_1} = a_{11}\lambda_1 - \dot{\lambda}_1 = 0; \quad (35)$$

$$\frac{\partial G}{\partial X_2} - \frac{d}{dt} \frac{\partial G}{\partial \dot{X}_2} = -a_{12}U_1\lambda_1 + a_{21}\lambda_2 - \dot{\lambda}_2 = 0. \quad (36)$$

Для визначення невідомих  $\lambda_1$  та  $\lambda_2$  отримаємо систему диференціальних рівнянь:

$$\dot{\lambda}_1 - a_{11}\lambda_1 = 0; \quad (37)$$

$$\dot{\lambda}_2 + \lambda_1 a_{12}U_1 - a_{21}\lambda_2 = 0. \quad (38)$$

В результаті отримали систему диференціально-алгебраїчних рівнянь для знаходження  $U_1$  і  $U_2$ .

Оскільки з однієї сторони система рівнянь нелінійна, а з другої знаходження невизначених множників Лагранжа  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  потребує для їх знаходження багатократного перебору варіантів, то рішення задачі знаходження управлінь, які б задовольняли критерію оптимізації згідно з виразом (27), можливо шляхом моделювання. Визначимо межі можливих змін управлінь  $U_1$  і  $U_2$ .

Із (31) і (32) виходить:

$$\lambda_1(t) = \frac{2U_1t}{a_{12}x_2} = \frac{2 * 2444 * 60}{0.004 * 1.6} = 45825000;$$

$$\lambda_2(t) = \frac{2U_2t}{a_{22}} = \frac{2 * 70 * 60}{0.068} = 123530.$$

Знаходження  $\lambda_1(t)$ . Для його знаходження використаємо отримане рівняння (31):  $\dot{\lambda}_1 - a_{11}\lambda_1 = 0$ . Його рішення:

$$\lambda_1(t) = C_1 e^{a_{11}t}, \quad (39)$$

де  $C_1$  – постійна інтегрування, яка, як правило, знаходиться із початкових умов (початкових і кінцевих станів об'єкту) диференціального рівняння.

Оскільки  $\lambda_1(t)$  визначає управління  $U_1(t)$ , яке входить в диференціальне рівняння руху (21), де початковими умовами є швидкості руху дизель-поїзда (початкова і кінцева), знайдемо значення  $C_1$ . Допустимо, що розгін дизель-поїзда виконується від швидкості  $x_{10} = 0$  (1/с) до швидкості  $x_{11} = 35.0$  (1/с) (60 км/год) за час  $t = 60$ с.

Так як сумісно рівняння (21) і (35) – диференціальне рівняння другого порядку, то відомі початкові умови дають можливість визначити дві постійних

інтегрування, одна з яких є  $C_1$ . З врахуванням рівняння управління (31), рівняння (21) прийме вид:

$$\dot{X}_1 + a_{11}X_1 = (a_{12}X_2^2\lambda_1) / (2t) = f(C_1, X_2, e^{a_{11}t}, t). \quad (40)$$

Аналітичне рішення рівняння (40) за певних умов (при постійному поточкозчепленні  $X_{20}$ ) включає дві складові: рішення однорідного рівняння і вимушеного. Тоді:

$$X_1(t) = C_2 e^{-a_{11}t} + X_{1B} (f(C_1, X_{20}, e^{a_{11}t}, t)). \quad (41)$$

В результаті маємо дві невідомі постійні інтегрування  $C_1$  та  $C_2$ , значення яких можливо знайти по заданих значеннях початкових умов по швидкості руху. Проаналізуємо рівняння (41).

Складова  $X_{10} = C_2 e^{-a_{11}t}$  (рішення однорідного рівняння) взагалі визначає характер зміни фазової координати  $X_1(t)$ . Друга складова – вимушена. При дослідженні можливо розглядати її зміни, використовуючи типові функції (постійну, часову, експоненціальну та інші).

Розглянемо вимушену складову від функції  $f(C_1, X_{20}, e^{a_{11}t}, t)$  при конкретних значеннях параметрів об'єкта управління з метою спрощення знаходження постійних інтегрування при рішенні рівняння (40).

$$C_1 e^{a_{11}t} \frac{a_{12}^2 X_{20}^2}{2t} = C_1 e^{0.00015t} \frac{a_{12}^2 X_{20}^2}{2t} = \frac{C_1 k_1}{t} = \frac{k_2}{t},$$

де  $k_1 = a_{12}^2 X_{20}^2 / 2$ ,  $k_2 = C_1 k_1$ ,  $t = (1 \div 60)$ .

В результаті отримаємо рівняння:

$$\dot{X}_1 + a_{11}X_1 = k_2/t. \quad (42)$$

Його рішення:

$$X_1(t) = C_2 e^{-a_{11}t} + \frac{C_1 a_{12}^2 X_{20}^2}{2(a_{11}t - 1)}. \quad (43)$$

Знайдемо постійні інтегрування із системи рівнянь:

$$\begin{cases} C_2 - C_1 a_{12}^2 X_{20}^2 / 2 = 0; \\ \frac{C_2}{e^{a_{11}t_i}} - \frac{C_1 a_{12}^2 X_{20}^2}{2(a_{11}t_i - 1)} = X_{1ti}. \end{cases} \quad (44)$$

В результаті, якщо для кожного конкретного значення  $t_i$  відомі граничні умови, тобто знаємо значення швидкості  $X_{1ti}$ , то можливо знайти значення  $C_1$  і  $C_2$  для кожного конкретного значення  $X_{1ti}$ . До того ж залежність швидкості від часу носить нелінійний характер. Можливо аналітично знайти тільки приблизні значення постійних інтегрування  $C_1$  і  $C_2$  з подальшим уточненням їх за допомогою моделювання. Знаходження постійних інтегрування  $C_1$  і  $C_2$  шляхом рішення системи (44) пропонується у вигляді співвідношень:

$$C_1 = 2C_2 / (a_{12}^2 X_{20}^2), \quad (45)$$

$$C_2 = C_{21}(1 + k_3 x_1), \quad (46)$$

де  $C_{21}$ ,  $k_3$  – відповідно константа і коефіцієнт пропорційності, які розраховуються згідно системи рівнянь (44) і в подальшому уточнюються на моделі. Начальні (стартові) значення  $C_{21}$ ,  $k_3$  можливо розрахувати при значеннях швидкостей в початковий і кінцевий моменти розгону дизель-поїзда.

Так в процесі дослідження (табл. 1, 2) за умови забезпечення мінімізації функціоналу (27) при розгоні дизель-поїзда значення коефіцієнтів:  $C_{21} = 170$ ,  $k_3 = 0.019$ . Постійна інтегрування  $C_2$  не залежить від величини поточозчеплення  $X_2$ , а визначається тільки початковими умовами і часом руху.

Функція  $\lambda_1(t)$  визначається як:

$$\lambda_1(t) = C_1 e^{a_{11}t} = \frac{2C_2 e^{a_{11}t}}{a_{12}^2 x_2^2} = \frac{C_{21}(1 + k_3 x_1)}{a_{12}^2 x_2^2} e^{a_{11}t}; \quad (47)$$

В результаті управління  $U_1(t)$  можливо формувати згідно виразу:

$$U_1(t) = \frac{C_2 e^{a_{11}t}}{a_{12} x_2 t} = \frac{C_{21}(1 + k_3 x_1)}{a_{12} x_2 t} e^{a_{11}t}. \quad (48)$$

Постійна інтегрування  $C_2$  визначає складову рішення однорідного рівняння руху об'єкта управління:  $X_{10} = C_2 e^{-a_{11}t} = C_{21}(1 + k_3 x_1) e^{-0.00015t}$ . Постійна інтегрування  $C_1$  визначає характер зміни  $\lambda_1$  ( $\lambda_1 = C_1 e^{a_{11}t}$ ), а значить і управління  $U_1(t)$ .

З отриманого співвідношення (48) виходить, що управління  $U_1(t)$  прямо пропорційне швидкості руху дизель-поїзда і зворотно пропорційне поточозчепленню  $X_2$  та часу руху  $t$  для певної завантаженості дизель-поїзда (визначається коефіцієнтом  $a_{11}$ ). Управління  $U_2(t)$  знаходиться згідно формули (32), де  $\lambda_2$  множник Лагранжа.

Диференціальне рівняння для визначення  $\lambda_2$ , яке отримано на основі рівнянь Ейлера (36), має вид:

$$\dot{\lambda}_2 - a_{21}\lambda_2 + 2C_2^2 e^{2a_{11}t} / (a_{12}^2 X_{20}^3 t) = 0. \quad (49)$$

Якщо прийняти до уваги, що  $e^{2a_{11}t} \approx 1$  за час розгону дизель-поїзда, то рівняння (49) може бути представлено у вигляді:

$$\dot{\lambda}_2 - a_{21}\lambda_2 = -k_3/t, \quad (50)$$

де  $k_3 = 2C_2^2 / (a_{12}^2 X_{20}^3)$ .

Рішення рівняння (50) знайдемо у вигляді:

$$\lambda_2 = C_3 e^{a_{21}t} + 2C_2^2 / (a_{12}^2 X_{20}^3 (a_{21}t + 1)),$$

де  $C_3$  – постійна, яка потребує визначення.

Управління  $U_2$ , буде визначатись рівнянням:

$$U_2(t) = \frac{a_{22}}{2t} \left( C_3 e^{a_{21}t} + \frac{2C_2^2}{a_{12}^2 X_{20}^3 (a_{21}t + 1)} \right). \quad (51)$$

Постійну інтегрування  $C_3$  можемо знайти за умови розрахункових значень діапазону управління  $U_2(t)$  ( $U_{20} = (0 \div 70)A$ ). Тоді при  $t = 1$ :

$$U_2(t) = \frac{a_{22}}{2t} k_4 C_3; \quad k_4 C_3 = \frac{140}{0.068} e^{-a_{21}t} = 2058.8 e^{-a_{21}t}.$$

Управління  $U_2(t)$  можливо представити як:

$$U_2(t) = 205.9 / (k_4 t + 1), \quad (52)$$

де  $k_4$  – коефіцієнт, який визначається в процесі моделювання. Так, в процесі дослідження за умови забезпечення мінімізації функціоналу (27) при розгоні дизель-поїзда  $k_4 = 0.1$ .

Перевірка законів управління досліджувалась на основі математичної моделі, реалізованої в середовищі MATLAB. Вона складається із наступних моделей: формування управлінь відповідно до синтезованих законів (співвідношень (48) та (52)), моделі електромеханічної частини електроприводу дизель-поїзда з тяговими двигунами змінного струму ТАД у вигляді системи диференціальних рівнянь п'ятого порядку в рухомій системі координат d-q [3, 6], блока моделі формування напруг  $U_{s1}$  і  $U_{s2}$  згідно рівнянь (16) і (17) і на їх основі напруги живлення  $U_{x1}$  моделі ТАД в рухомій системі координат, формування швидкості руху дизель-поїзда – рівняння (4) і (15), блоків моделей формування абсолютних значень поточозчеплення  $\Psi_{rm}$  і управлінь  $U_1(t)$  та  $U_2(t)$ , моделей формування споживчої потужності тяговим електроприводом, числових значень функціонала згідно рівняння (27). Момент опору руху  $M_c$ , згідно правил тягових розрахунків, задавався рівнянням (2).

В процесі досліджень розглядалися можливості розгону дизель-поїзда за умови підтримки постійного (заданого) значення тягового моменту ТАД і за умови забезпечення мінімізації функціоналу (27) згідно синтезованих управлінь.

На рис. 1 – 4 приведені результати моделювання розробленої системи у вигляді перехідних процесів напруги живлення  $U_{x1}$ , поточозчеплень  $\Psi_{rm}$ , управління  $U_1$  та електромагнітного моменту ТАД  $M_d$ , що демонструють роботу моделі при певному значенні управлінь  $U_1$  і  $U_2$  в системі керування і як реакції на управління об'єкта дослідження за умови підтримки постійного (заданого) значення тягового моменту ТАД і за умови забезпечення мінімізації функціоналу. Відповідно до синтезованих законів управління отримані показники витрат енергії (у вигляді споживчої потужності тяговим електроприводом та числових значень функціоналу) при розгоні дизель-поїзда при номінальній завантаженості в залежності від швидкості руху та пройденого шляху за певний проміжок часу. Як критерій оптимальності використовувався критерій мінімуму енергетичних витрат при виконанні обмежень по величині пройденого шляху і швидкості в кінцевий момент часу. Розглядалися варіанти впливу коефіцієнтів



блоків моделей системи формування управлінь в процесі розгону дизель-поїзда за заданий час  $t$  і оцінювалися отримані характеристики (швидкість, пройдений шлях і енергетичні витрати). Результати дослідження приведені в табл. 1 і 2. На їх основі

уточнювалися значення постійних інтегрування  $C_1$  і  $C_2$  синтезованого закону управління  $U_1$ , які отримані шляхом рішення системи (44) у вигляді співвідношень (45) і (46), де  $C_{21}$ ,  $k_3$  – відповідно константа і коефіцієнт пропорційності

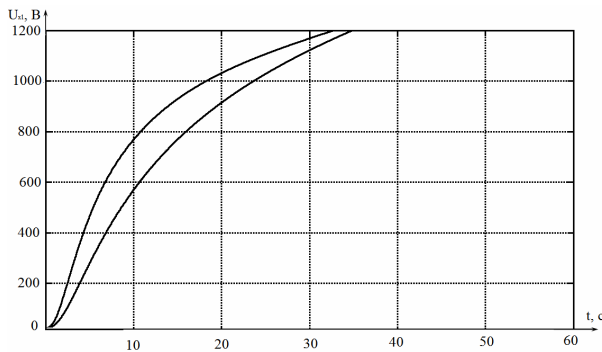


Рис. 1. Процеси зміни напруги живлення  $U_{11}$  моделі ТАД в рухомій системі координат (нижній графік – при постійному моменті)

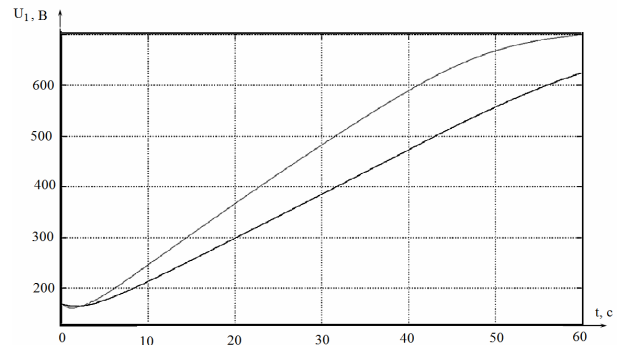


Рис. 3. Процеси зміни управління  $U_1$  за умови підтримки постійного (заданого) значення тягового моменту ТАД і за умови забезпечення мінімізації функціоналу (верхній графік)

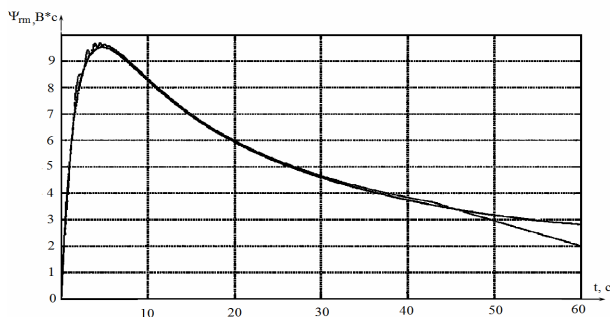


Рис. 2. Процеси зміни потокозчеплення  $\Psi_{fm}$  (сформовані згідно закону управління і як вихідний сигнал моделі ТАД)

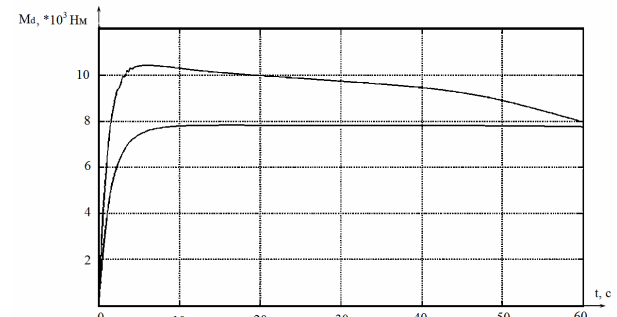


Рис. 4. Процеси зміни тягового моменту ТАД за умови підтримки постійного його значення і за умови забезпечення мінімізації функціоналу

Таблиця 1 – Результати досліджень

$k_3=0.019$	$M_d = \text{Const}=8000$ (Нм)				$M_d = \text{Var}$				$\Delta P * 10^3, 1/\text{м}$
	$C_{21}$	V, км/год	S, м	$P * 10^6$	$J * 10^6$	V, км/год	S, м	$P * 10^6$	
200	63.49	526.5	24.88	1.226	56.81	631.8	43.56	1.216	1.925
180	62.45	516.3	22.04	0.973	63.42	667.9	38.19	1.111	1.663
170	61.74	510.9	20.96	0.851	66.44	636.1	32.87	1.022	1.607
160	60.98	504.7	20.18	0.730	65.78	578.9	25.16	0.895	1.546
150	60.18	497.5	19.6	0.613	58.46	507.2	18.15	0.752	1.482

Таблиця 2 – Результати досліджень

$C_{21}=160$	$M_d = \text{Const}=8000$ (Нм)				$M_d = \text{Var}$				$\Delta P * 10^3, 1/\text{м}$
	$k_3$	V, км/год	S, м	$P * 10^6$	$J * 10^6$	V, км/год	S, м	$P * 10^6$	
0.013	56.67	469	17.39	0.35	42.85	402.9	9.76	0.49	1.216
0.015	58.42	482.7	18.41	0.427	50.02	454.6	13.2	0.604	1.329
0.017	59.77	494.3	19.26	0.567	58.57	514.9	18.15	0.739	1.435
0.019	60.98	504.7	20.18	0.730	65.78	578.9	25.16	0.895	1.546
0.021	62.13	513.19	21.48	0.90	65.89	628.5	32.9	1.04	1.654

Як слідує із таблиць, як за умови використання закону управління формування тягового моменту ТАД за принципом  $M_d = \text{Const}$ , так і за умови забезпечення мінімізації функціоналу синтезовані управління забезпечують формування частоти та напруги живлення ТАД в процесі розгону дизель-поїзда згідно заданих граничних умов (кінцевої швидкості та пройденого шляху).

Порівняння показників (показник  $\Delta P$ ) виконувалося за відношенням абсолютного значення функціоналу до значення пройденого шляху за умови досягнення граничної межі заданої швидкості і пройденого шляху.

Для забезпечення виконання умов оптимізації в процесі досліджень встановлені межі допустимих значень коефіцієнтів синтезованих управлінь  $C_{21}$ ,  $k_3$

Межі допустимих значень:  $C_{21} = (160 \div 180)$ ,  $k_3 = (0.017 \div 0.018)$ . Оптимальними є значення:  $C_{21} = 170$ ,  $k_3 = 0.019$ . При цьому різниця між сусідніми значеннями показників  $C_{21}$ ,  $k_3$  при визначенні  $\Delta P$  згідно таблиць не перевищує 0.3%.

Виходячи з проведених результатів дослідження можна зробити висновок, що синтезовані управління та розроблена модель на основі використання алгоритму векторного управління електроприводом, дозволяють оптимізувати роботу енергетичної системи дизель-поїзда в процесі розгону при номінальному завантаженні, забезпечуючи при цьому виконання заданих граничних умов, а також проводити дослідження аналогічних систем управління.

### Висновки

1. Отримані аналітичні співвідношення можуть бути використані для розробки структури САР електроприводу дизель-поїзда і розрахунку її параметрів при заданні певного критерію якості при номінальному завантаженні дизель-поїзда.

2. Запропонована методика розрахунку коефіцієнтів математичної моделі управління може бути адаптована при синтезі законів управління електроприводом змінного струму дизель-поїзда в залежності від конкретного завантаження в процесі розгону.

3. Оптимізаційна математична модель електроприводу змінного струму, закони управління, аналі-

тичні співвідношення для визначення параметрів САР реалізовані у вигляді машинної моделі. Проведені дослідження показали перспективність такого підходу при розробці сучасних оптимальних систем управління електроприводом дизель-поїздів з тяговими двигунами змінного струму.

4. На підставі проведених досліджень і порівнянні результатів отриманих на моделі в динамічних режимах і за різних умов розгону дизель-поїзда (діапазону зміни коефіцієнтів моделі системи оптимальних управлінь) встановлено, що процес розгону при запропонованих законах управління стійкий, параметри системи електроприводу (напруги живлення та токи ТАД, потокозчеплення, величина ковзання) знаходяться в робочому діапазоні. При цьому виконуються вимоги щодо точності приведення об'єкта управління в задану точку фазового простору і якості управління.

5. Розроблена оптимізаційна модель на основі алгоритму векторного керування ТАД та запропоновані закони управління дозволяють оптимізувати роботу енергетичної системи дизель-поїзда в процесі розгону, забезпечуючи при цьому виконання заданих граничних умов, а також проводити дослідження систем керування в замкнутій системі управління.

6. Синтезовані закони управління можуть бути покладені в основу системи керування в цілому при розробці автоматизованої системи управління рухом дизель-поїзда, де одним з основних принципів керування – підтримка заданої величини тягового моменту.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Blaschke F. Das Prinzip der Feldorientierung. Die Grundlage für die Transvektor-Regelung von Drehfeldmaschine / F. Blaschke // Siemens Zeitschrift. – 1971. – № 45. – Н. 10.
2. Усольцев А.А. Векторное управление асинхронными двигателями / А.А. Усольцев СПб: СПбГУ ИТМО, 2002. – 43 с.
3. Сандлер А.С., Сарбатов Р.С. Автомат. частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергия, 1974. – 328 с.
4. Рудаков В.В., Столяров, И.М., Дартау В.А. Асинхронные электроприводы с векторным управлением. – Л.: 1987. 136 с.
5. Bose Bimal K. Modern Power Electronics and AC drives. Prentice Hall PTR: Prentice-Hall Inc. 2002. 712 p.
6. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / [Носков В.И., Дмитриенко В.Д., Запоровский Н.И., Леонов С.Ю.]. – Х.: ХФИ «Транспорт Украины», 2003. – 248 с.
7. Volkov A.V., Kosenko I.A. Asynchronous motor drive based on self-excited current inverter with switched-off thyristors and provided with redicting relay and vector regulation of stator current. Published in Elektrotehnika. 2008. No 10. P. 6-17.
8. Запоровський М.Й., Мезенцев М.В., Скороделов В.В. Синтез управлінь для оптимізації динамічних процесів електроприводу змінного струму. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Вип. 4(50). Полтава. 2018. С. 38-41.
9. Запоровський М.Й. Математична модель для синтезу управлінь електроприводом змінного струму/ М.Й. Запоровський, В.В. Скороделов, М.В. Мезенцев // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Вип. 5(57). Полтава. 2019. С. 16-21.

Received (Надійшла) 22.06.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.08.2020

### Synthesis of diesel train controls with AC electric drive

M. Zapolovsky, M. Mezentssev

**Abstract.** The task of synthesis of the control system of the traction electric drive of alternating current is an integral part of the general task of creation of optimum control system of vehicles that provides performance of the schedule according to the set quality criterion. **The purpose of this work** is to develop mathematical models for the synthesis of AC control system using vector control algorithm, synthesis of controls and research of their models, obtaining qualitative characteristics of the control system in the simulation process using MATLAB package. The issues of development and research of models for the synthesis of control systems for AC electric drive of an alternating current of a diesel train are considered. A review of literary sources on a given topic and an analysis of existing approaches to solving the most common problems in this area are carried out. Modern options using vector control algorithms are considered. Mathematical models are constructed, modeling of their functioning is carried out. The obtained analytical relations that can be used to develop the structure of the automatic control system of the electric drive of the diesel train and calculate its parameters when specifying a certain criterion taking into account a certain workload of the train. Control laws have been synthesized that provide stable acceleration of a diesel train at various points of the traction characteristic, while the requirements for the accuracy of bringing the control object to a given point in the phase space and the quality of transient processes are fulfilled.

**Keywords:** synthesis of control systems, AC electric drive, vector control algorithms, mathematical model, controls.

Ю. О. Ковтунов<sup>1</sup>, О. А. Макогон<sup>1</sup>, О. В. Ісаков<sup>1</sup>, Ю. В. Бабкін<sup>1</sup>, І. В. Калінін<sup>1</sup>, Р. Р. Лазута<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Військовий інститут танкових військ НТУ “ХПІ”, Харків, Україна

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

## ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ ФАЗЗИФІКАЦІЇ ТА АЛГОРИТМІЗАЦІЇ РОБОТИ СИСТЕМИ ІНТЕРАКТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТНИХ КОМУНІКАЦІЙ

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є моніторинг транспортних комунікацій при застосуванні сучасних технологій інтелектуалізації транспортних засобів. **Метою статті** є розроблення математичного апарату для створення інтелектуального програмного забезпечення мобільного інтерактивного моніторингу транспортних комунікацій. **Завдання дослідження:** приведення опису системи інтерактивного моніторингу транспортних комунікацій до нечіткого виду шляхом визначення лінгвістичних змінних; проведення аналогії між кількісними оцінками підсистем і ланок системи і їх нечітким описом; на основі фаззифікації проведення алгоритмізації задач моніторингу транспортних комунікацій; проведення динамічного аналізу процесу моніторингу транспортним засобом, обладнаним інформаційно-обчислювальним комплексом. Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні **методи** наукового пізнання: теорія систем, нечітких множин, основні положення інформаційної теорії керування та розрізнення. Отримані такі **результати:** процес моніторингу транспортних комунікацій поданий як результат нормалізації даних, їх структурної й прагматичної обробки; визначений оператор фаззифікації спостережуваного динамічного процесу моніторингу транспортних комунікацій; надане математичне підґрунтя алгоритмізації процедури керування процесом моніторингу; проведений динамічний аналіз процесу моніторингу транспортним засобом, обладнаним інформаційно-обчислювальним комплексом. **Висновки.** Системи інтерактивного моніторингу транспортних комунікацій нечіткого виду може бути формально описана шляхом визначення лінгвістичних змінних та їх значень – термів. Фаззифікація спостережуваного динамічного процесу моніторингу транспортних комунікацій може бути подана у вигляді подвійного перетворення динамічної функції. Алгоритмізації цієї процедури можлива шляхом визначення відповідності характеристик спостережуваних динамічних процесів процедурам оцінки термів за допомогою функції приналежності лінгвістичної змінної, що характеризує цей процес.

**Ключові слова:** нечітка логіка, фаззифікація, моніторинг транспортних комунікацій, інформаційно-обчислювальний комплекс.

### Постановка проблеми та завдання дослідження

Впровадження новітніх інформаційних технологій дозволяє автоматизувати процеси, які раніше виконувалися безпосередньо за участю людини. На формальному рівні оцінка стану такої складної системи як транспортні комунікації пов'язана з нормуванням участі у ньому процесі людини. Створення мобільних інформаційно-обчислювальних комплексів (ІОК) як основного інструменту інтерактивного моніторингу транспортних комунікацій пов'язано із розширенням списку контролюємих параметрів при одночасному зменшенні участі людини як джерела суб'єктивних оцінок. Зазвичай, водій-оператор, який знаходиться за кермом автомобіля, обладнаного ІОК, суб'єктивно сприймає стан ділянки дороги, що аналізується. Однак, саме такий суб'єктивізм несе корисну інформацію, яка дозволяє вірно прийняти рішення щодо дійсного стану відповідної ділянки. Виходячи з цих обставин, авторами вважається актуальним дослідження методів поєднання суб'єктивізму оцінок стану ділянки дороги з точним технічним розрахунком.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** стосовно зазначених вище питань засвідчує, що теоретичні засади створення програмного забезпечення мобільного та відповідний математичний апарат наведено у дослідженнях з моніторингу автомобільних доріг [1-4]. Це так званий нечіткий

підхід або фаззифікація. Першим кроком до використання нечіткого фаззі підходу до моделювання складних транспортних об'єктів і систем є завдання фаззифікації формального опису їх спостережуваних динамічних процесів руху. Нечітка логіка є областю не традиційної математики, що сьогодні широко представлена у фундаментальному й прикладному науковому виданнях. Існуючі підходи до рішення завдання фаззифікації в транспортних додатках відрізняються певним суб'єктивізмом. Якщо це й припустимо в організаційних системах, то в технічних і організаційно-технічних системах потрібні суворі кількісні оцінки, виключення суб'єктивної думки людини. Це, насамперед, можна віднести до нових транспортних додатків нечіткої логіки. Так, у завданнях моніторингу транспортних машин, систем і комунікацій, де раніше використалися експертні оцінки, близькі до використання апарату лінгвістичних змінних, є протиріччя між можливостями кількісної обробки даних технічних параметрів і використанням “неточних” логічних виводів [5, 6].

**Метою статті** є розроблення математичного апарату для створення інтелектуального програмного забезпечення мобільного інтерактивного моніторингу транспортних комунікацій. Для досягнення мети визначені **завдання дослідження:** приведення опису системи інтерактивного моніторингу транспортних комунікацій до нечіткого виду; проведення аналогії між кількісними оцінками під-

систем і ланок системи і їх нечітким описом; на основі фаззифікації проведення алгоритмізації задач моніторингу транспортних комунікацій; проведення динамічного аналізу процесу моніторингу транспортним засобом, обладнаним інформаційно-обчислювальним комплексом.

### Виклад основного матеріалу

**1. Основні поняття у моніторингу транспортних комунікацій.** Представимо процес моніторингу транспортних комунікацій як результат нормалізації даних, їх структурної й прагматичної обробки. Транспортні комунікації являють собою складну організаційно-технічну систему. Таке представлення основане на те, що в їх склад входять як технічні, так і організаційні об'єкти.

Під моніторингом транспортних комунікацій слід розуміти безперервні просторово-часові спостереження протяжного об'єкту з метою визначення його експлуатаційних параметрів.

Основними поняттями у моніторингу транспортних комунікацій будемо вважати такі як протяжний об'єкт, стан протяжного об'єкту, параметри протяжного об'єкту, база даних про стан протяжного об'єкту, інформаційно-обчислювальний комплекс.

Під протяжним об'єктом будемо розуміти споруду великої довжини, на котру націлені любі дії (експлуатація цієї споруди, спостереження, контроль, тощо). Математично цей об'єкт, у котрому один з геометричних параметрів значно перевищує інші, точніше можна сказати, що протяжні об'єкти – це такі об'єкти, основною характеристикою котрих являється значне перевищення однієї з характеристик з набору параметрів, визначаючих властивості об'єкту дослідження. Протяжний об'єкт – це об'єкт, що має велику площину, тобто простирається у декількох напрямках. Це може бути як сейсмічно небезпечна ділянка землі, так і будь яке вертикальна об'ємна споруда. Стан протяжного об'єкту – це точно визначена умова чи властивість, яка може бути впізнаною при повторному появленні (як і в випадку любой складної системи).

Параметрами протяжного об'єкту можна назвати комплекс показників, котрі характеризують стан об'єкту дослідження. Окремим випадком протяжного об'єкту є лінійний об'єкт. Але у відмінності від протяжного, для лінійного об'єкту має значення тільки одна характеристика, тоді як для протяжного необхідно аналізувати значення всього набору характеристик як в “подовжньому”, так і у “поперечному” напрямках. Під базою даних про стані протяжного об'єкту розуміється сукупність даних, в котрих міститься відомості о значеннях параметрів протяжного об'єкту.

Слід підкреслити, що дані про стан протяжного об'єкту мають різновидний характер. Це не тільки дані однієї природи, а множина техніко-економічних характеристик, котрі дають найбільш повну уяву про об'єкт, його ролі та стану. Особо виділяються ергономічні показники, так як досліджуваний об'єкт має яскраво виражений людино-машинний характер [7-9].

**2. Приведення точних характеристик транспортної технічної системи моніторингу до “нечіткого” виду.** Нехай технічний об'єкт або система формально описується оператором  $Y$ , що перетворює спостережувану динамічну змінну  $x(t)$  – прообраз оператора  $Y$ , що однозначно визначає відповідний спостережуваний динамічний процес. Для транспортної системи такий динамічний процес – це процес руху транспортного засобу. У найпростішому випадку результатом перетворення є образ оператора  $y(t)$ . Логічно вважати процес спостереження такої системи динамічним моніторингом. Для переходу від суб'єктивних оцінок спостережуваного об'єкта або системи покладемо, що  $y(t)$  однозначно відповідає лінгвістичній змінній в області визначення нечіткої моделі спостережуваного динамічного процесу.

Тоді обмежена множина термів такої лінгвістичної змінної визначається специфікою спостережуваного динамічного процесу. Формально:

$$y(t) = Y[x(t), t], \quad (1)$$

де  $y(t)$  – образ оператора  $Y$ ;  $x(t)$  – прообраз оператора  $Y$ ;  $t$  – поточний час.

Якщо  $x(t)$  відповідає певна точка  $x_n$  з множини  $X$ , то в пропонованій постановці конкретне значення образу оператора  $y(t)$  відповідає одному з термінів. До цього терміна ставитися не єдине значення  $y_m = Y$ , а кілька суміжних значень.

Якщо процес спостереження  $x(t)$  є моніторингом, то послідовності  $2k + 1$  відсіків  $y(t)$  у діапазоні

$$\{y_{m-c}, y_{m-c-1}, \dots, y_m, \dots, y_{m+c-1}, y_{m+c}\} \in y(t)$$

є кількісна оцінка одного з термів відповідної лінгвістичної змінної.

Таким чином, розглядаючи операторне перетворення (1), треба поряд з кількісною відповідністю  $X \rightarrow Y$  також аналізувати відповідність  $Y \rightarrow L$ , де  $L$  – множина термів лінгвістичної змінної, аналогом якої є  $y(t)$ . Назвемо  $P$  оператором фаззифікації спостережуваного динамічного процесу, аналогом якого є значення образу  $y(t)$  значень функції  $x(t)$ , що реєструються:

$$e(S) = P[y(t), S], \quad (2)$$

де  $S$  – аргумент, що характеризує відповідність  $2k+1$  значення  $y_m$  в діапазоні від  $y_{m-c}$  до  $y_{m+c}$  терму  $L(S)$  поточному значенню часу  $t$  у момент реєстрації.

Порівняно проста система операторних співвідношень (3) може бути просто реалізована, якщо вона формалізуємо й кількісно оцінювана як ступінь приналежності значень  $x(t)$ , що реєструються, відповідний терму  $l(s)$ , а час поточний  $t$  відповідає  $s$ .

Припустимо, що фаззифікація спостережуваного динамічного процесу є таке подвійне перетворення динамічної функції  $x(t)$ , що реєструється:

$$y(t) = Y[x(t), t];$$

$$l(s) = L[y(t), s];$$

$$S \in S \rightarrow T, t_p \in T \quad (3)$$

Таким чином, алгоритмізація цієї процедури можлива шляхом визначення відповідності характеристик спостережуваних динамічних процесів процедурам оцінки термів за допомогою функції приналежності лінгвістичної змінної, що характеризує цей процес.

Така процедура полягає в знаходженні механізму розрахунку кількості термів, точності реєстрації  $x(t)$  і розрізнення результатів оцінки  $y(t)$  необхідного динамічного процесу.

Розглянемо проблему загального завдання фазифікації в прикладній постановці, що відповідає транспортним додаткам (завдання моніторингу дорожнього середовища).

**3. Фазифікація системи моніторингу транспортних комунікацій.** Така система являє собою спостерігача, що рухається, безпосередньо виконуючий вимір й оцінку стану об'єктів, що рухаються, і дороги. Формально образ відповідного оператора цієї системи й лінгвістична змінна є результатом подвійного перетворення значень спостережуваної змінної  $x(t)$  в одномірному випадку. Наприклад, у русі базового транспортного засобу безупинно оцінюється або його швидкість у транспортному потоці  $v(t)$  або рівність, коефіцієнт зчеплення коліс транспортного засобу з поверхнею дороги  $r(t)$ . Таким чином,  $x(t)$  – деяка узагальнена оцінка як транспортної машини, так і дороги, якщо вважати, що транспортна система є об'єднанням множини машин  $M$  і дороги  $A$ , по якій ці машини рухаються.

Оператор фазифікації є перетворення значень спостережуваних динамічних змінних  $x(t)$  з області множини  $x$  в одну із крапок нечіткої множини  $S$ . Реальний прототип множини  $S$  – послідовність деяких фіксованих крапок відповідної транспортної комунікації (автомобільної дороги).

Фізично цим процесам відповідає реєстрація значень спостережуваної динамічної змінної  $x(t)$ , їхня інформація, приведення до заздалегідь певної системи відліків  $y(t)$  і прагматична обробка значень лінгвістичної змінної  $l(s)$ . При цьому, в результаті процесу фазифікації оцінка  $l(s)$  виконується щодо не часу  $t$ , а у відповідності властивостей досліджуваного об'єкта в порівнянні з іншими аналогічними об'єктами.

Введемо припущення, що моніторинг ґрунтується на методі аналогій. Таким чином, бальні оцінки є прототипом лінгвістичних змінних. Тоді в тих системах, де такі оцінки використовуються, можна перейти від певного суб'єктивізму експерта до точного кількісного аналізу результатів спостережень на основі лінгвістичних змінних.

Наслідком є рішення задачі визначення фізичного розрізнення спостережуваного динамічного процесу по споживчому розрізненню, що задається бальною оцінкою.

Відповідно до інформаційної теорії керування розрізняють фізичний і споживчий поріг розрізнення спостережуваного динамічного процесу.

Якщо це оператор  $Y$  перетворення прообразу  $x(t)$  у значення образу  $y(t)$ , то поріг розрізнення  $E_x$  рівний найменшій різниці суміжних значень

$$x(t) : \Delta_x = \min(x_n - x_{n+1}),$$

є фізичним порогом розрізнення спостережуваного динамічного процесу.

Відповідно

$$E_y = \min(y_m - y_{m+1}) -$$

споживчий поріг розрізнення спостережуваного динамічного процесу.

Варто помітити, що для ясності викладу під спостережуваним динамічним процесом автор розуміє одномірний випадок зміни величини  $x(t)$ , а спостереження – реєстрація значень  $x_n \in x(t)$ .

Кількість  $d_x$  різних значень  $x(t)$  або дискретних відліків визначається порогом розрізнення  $E_x$  так, що  $n = 1, 2, \dots, d_x - 1, d_x$ . За аналогією кількість  $d_y$  різних значень  $y(t)$  визначається в такий же спосіб. Тому

$$d_x = \frac{\max X_n - \min X_n}{E_x}; \quad (4)$$

$$d_y = \frac{\max Y_m - \min Y_m}{E_y}.$$

У технічних системах  $E_x$  визначається фізичними властивостями спостережуваного процесу, а  $E_y$  – потребами користувача. Стосовно лінгвістичної змінної  $l(s)$  спостережуваного процесу не можна говорити про відповідний поріг розрізнення тому що для неї справедливий не кількісний, а логічний оцінки. Однак можна затверджувати, що кількість її термів дорівнює  $d_x$ , а значення  $y_n \in y(t)$ , є кількісною оцінкою відповідною оцінкою відповідає лінгвістичної змінної  $l(s)$ .

Таким чином, отримані співвідношення (1) – (4) дозволяють порівняно просто вирішувати завдання як саме фазифікації, так і визначення відповідних характеристик цього процесу: поріг розрізнення, значень діапазонів зміни термів та відповідно точності реєстрації даних.

**4. Алгоритмізація задач моніторингу транспортних комунікацій.** Згідно з твердженням, що основною характеристикою процесу моніторингу є відстань від умовного початку траси  $l$ , що належить метричному простору  $L$ , можна визначити оператор перетворення  $Q$  результатів виміру  $y(t)$  за результатами вимірів параметрів  $x(t)$ . Це перетворення виконується у часовому просторі  $T$ ,  $L_Q \subset L$  та  $L_X \subset L$ .

Однак,  $L_Q$  та  $L_X$  незважаючи на те, що вони належать одному метричному простору  $L$ , є множинами

$$L_Q \cap L_X = 0,$$

що не перехрещуються. Це пояснюється різною фізичною природою множини функцій  $x(l)$  та множини функцій  $Q(l)$ .

Для дослідження цих перетворень найбільш ефективним є використання математичного апарата функціональних похідних.

Вони вираховуються за подвійною границею такого вигляду для оператора

$$y(t) = Y[x(t), t]:$$

$$\frac{\partial y}{\partial S_x} = \frac{\Delta y}{\Delta x \cdot \Delta t},$$

$$\Delta x \rightarrow 0,$$

$$\Delta t \rightarrow 0,$$
(5)

де  $\frac{\partial y}{\partial S_x}$  – функціональна похідна образу оператора  $y(t)$  з прообразу  $x(l)$ ;  $\Delta x$  – приріст прообразу оператора  $y$ ;  $\Delta y$  – приріст образу оператора  $y$ .

У результаті розрахунку (5) визначається зміна образу оператора не тільки залежно від зміни аргументу  $t$ , але і прообразу  $x(l)$ .

Тому можна виконати для реального прикладу руху транспортного засобу, обладнаного ІОК, розрахунок подвійної межі  $\frac{\partial l}{\partial S}$ , вираховуючи значення

$\frac{\Delta l}{\Delta \alpha \cdot \Delta t}$  для оператора перетворення напрямку руху (кут  $\alpha$ ) та часу  $t$  у відстань  $l$ .

У такому випадку образ оператора – довжина  $l$  ділянки транспортної комунікації. Прообраз і образ оператора визначені на одному метричному просторі: часової вісі множини вимірів  $\{t_i\} \in T$ . Це дасть можливість представити функцію  $l(t)$  на інтервалі  $[t_0, t_n]$  як систему співвідношень, що мають такий вигляд:

$$\Delta l_n = \frac{\partial l}{\partial S_t} \Big|_{t=t_n} \cdot \Delta t + \frac{\partial l}{\partial S_\alpha} \Big|_{\alpha=\alpha_n} \cdot \Delta \alpha$$
(6)

Представимо  $\Delta l_i$  як аналітичну залежність, що отримана в результаті практичних вимірів відстані  $\Delta l = \Delta l_{i+1} - l_i$  проміжок часу  $\Delta t$  при зміні азимуту  $\Delta \alpha$ .

Для цього визначимо пороги розрізненості довжини, часу та кута  $\xi_l, \xi_t, \xi_\alpha$ . Тоді можна стверджувати, що:

$$\xi_l = K_t \frac{\partial l}{\partial S_t} \Big|_{t=t_i} \cdot \Delta \xi_t + K_\alpha \frac{\partial l}{\partial S_\alpha} \Big|_{\alpha=\alpha_i} \cdot \Delta \xi_\alpha,$$
(7)

де  $K_t$  та  $K_\alpha$  – коефіцієнти, що враховують різні розмірності  $t$  і  $\alpha$ .

Можна також розрахувати реальне значення  $l_i^u$  довжини в точці  $t = t_i$  при виконанні вимірів з кроком, що визначаються  $\xi_t$  і  $\xi_\alpha$  [10]:

$$l_i^u = l_i - \left[ K_t \frac{\partial l}{\partial S_t} \Big|_{t=t_i} \cdot \Delta \xi_t + K_\alpha \frac{\partial l}{\partial S_\alpha} \Big|_{\alpha=\alpha_i} \cdot \Delta \xi_\alpha \right].$$
(8)

**5. Динамічний аналіз процесу моніторингу транспортним засобом, обладнаним ІОК.** Будемо вважати, що вхід системи – обертання коліс автомобіля. Розглянемо випадок, що відповідає ситуації, при якій за одне обертання колеса система отримає один імпульс керування. Тоді маємо чотири джерела імпульсів з інтервалами між суміжними імпульсами циклу  $t_{1u}, t_{2u}, t_{3u}, t_{4u}$ , що відповідно визначаються часом оберту колеса.

Таким чином,

$$t_{1u} = \frac{c_1}{v_1},$$

$$t_{2u} = \frac{c_2}{v_2},$$

$$t_{3u} = \frac{c_3}{v_3},$$

$$t_{4u} = \frac{c_4}{v_4},$$
(9)

де  $c_1, c_2, c_3, c_4$  – довжини кіл коліс;  $v_1, v_2, v_3, v_4$  – швидкості обертання коліс, тоді як для першого колеса;

$$v_1 = \frac{c_1 \cdot f}{N_1},$$
(10)

де  $f$  – частота заповнення часового інтервалу, що визначається обертанням колеса;  $N_1$  – кількість імпульсів заповнення.

У цьому випадку процес моніторингу складається з послідовності циклів  $T_u$ , що повторюються. Тоді можна визначити умову вимірювання  $v_1, v_2, v_3, v_4$  таким чином:

$$T_u > \max(t_{1u}, t_{2u}, t_{3u}, t_{4u}).$$
(11)

Реєстрація даних здійснюється за сигналами переривання процесора вимірювальним приладом обертання розподільчого вала. Реєструються послідовності імпульсів, що є результатом роботи цифрових приладів та аналогові сигнали, що є результатом роботи системи навігації.

Загальний час реєстрації  $T_R$  визначається таким чином:

$$T_R = t_n + t_{1n} + t_{2n} + t_{3n} + t_{4n},$$
(12)

де  $t_n$  – час сигналів вимірювальних приладів руху;  $t_{1n}, t_{2n}, t_{3n}, t_{4n}$  – час реєстрації сигналів прискорення коливачів кузова транспортного засобу.

Керування процесом моніторингу можливо здійснювати за допомогою спеціальної програми. Крім цього здійснюється вивід даних на монітор та формування бази даних.

Ці процедури та необхідна обробка подій комунікаційних портів виконується програмою, яку визначимо комунікаційною.

Результат роботи комунікаційної програми – заповнення буфера даних і видача повідомлення головній програмі керування про необхідність записати отримані дані на жорсткий диск. Година роботи комунікаційної підпрограми –  $T_{ком}$ .

Тоді

$$T_{ц} > \max(T_{ком}, T_R). \quad (13)$$

Очевидно, що нерівність (13) є основною умовою нормальної роботи обчислювального комплексу. Співвідношення (11), (13) – це обмеження, що необхідні для організації роботи програмного забезпечення ІОК [11].

## Висновки

1. Системи інтерактивного моніторингу транспортних комунікацій нечіткого виду може бути формально описана шляхом визначення лінгвістичних змінних та їх значень – термів.

2. Фазифікація спостережуваного динамічного процесу моніторингу транспортних комунікацій може бути подана у вигляді подвійного перетворення динамічної функції.

3. Алгоритмізації цієї процедури можлива шляхом визначення відповідності характеристик спостережуваних динамічних процесів процедурам оцінки термів за допомогою функції приналежності лінгвістичної змінної, що характеризує цей процес.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексієв В.О. Інтерактивний моніторинг автомобільних доріг: монографія / О.П. Алексієв, А.А. Видмиш, В.О. Хабаров.: – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 144 с.
2. Хабаров В.О. Дорожники недополучают – государство теряет / В.О. Хабаров // Науковий вісник будівництва. – Х. : ХДТУБА. – 2002. – № 19. – С. 153 – 155.
3. Перегон О.В. Моделирование руха транспортних машин у системі громадського пасажирського транспорту // Автомобильный транспорт. – Харьков: ХНАДУ, 2005. – Вып. 16. – С. 327-329.
4. Horowitz R. Automated Highway systems // Transportation systems IF AC Symposium, Chania, Greece, 1997. – pp. 452 – 463.
5. Малявин А.А. Разработка системы управления движением автомобиля с использованием нечеткой логики: дис. ... канд. техн. наук. 05.13.06. Москва. 2011. 180 с.
6. El Hajjaji A, Bentalba S. Fuzzy path tracking control for automatic steering of vehicles[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2003, 43(4): 203-213.
7. Robert Fuller. Neural Fuzzy Systems. Abo Akademy University. Пер. с англ. С. В. Кряжевских, 1995.
8. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
9. Mozhaiev, M., Kuchuk, N. and Usatenko, M. (2019), "The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, (4 (10), pp. 134-140. doi: [10.30837/2522-9818.2019.10.134](https://doi.org/10.30837/2522-9818.2019.10.134)
10. Математические принципы нечеткой логики/ Новак В., Перфильева И., Мочкорж И. Пер с англ.; Под ред. Аверкина А.Н. – М.: Физматлит, 2006. – 352 с.
11. Мехатроніка транспортних засобів та систем. Алексієв О.П., Волков В.П., Калмиков В.І. Навчальний посібник. - Харків: ХНАДУ. 2003. – 225 с.

Received (Надійшла) 24.05.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.08.2020

### Using the mathematical apparatus of fuzzy logic for phasification and algorithmizations of the interactive monitoring system of transport communications

Yu. Kovtunov, H. Makogon, O. Isakov, Yu. Babkin, I. Kalinin, R. Lazuta

**Abstract.** The subject matter of the article is the monitoring of transport communications using modern technologies of intellectualization of vehicles. The goal of the study is to develop a mathematical apparatus for creating intelligent software for mobile interactive monitoring of transport communications. The tasks to be solved are: to reduce the description of the transport communications interactive monitoring system to a fuzzy form by defining linguistic variables; to draw an analogy between quantitative estimates of subsystems and links of a system and their fuzzy description; based on fuzzification, to carry out the algorithmization of monitoring tasks of transport communications; to conduct a dynamic analysis of the monitoring process with a vehicle equipped with an information and computer complex. General scientific and special methods of scientific knowledge are used. The following results were obtained: the process of monitoring transport communications is presented as a result of data normalization, their structural and pragmatic processing; the fassification operator of the observed dynamic process of transport communications monitoring is defined; provided mathematical basis for algorithmization of the monitoring process control procedure; a dynamic analysis of the monitoring process of a vehicle equipped with an information and computing system was conducted. **Conclusions.** Systems of interactive monitoring of fuzzy transport communications can be formally described by defining linguistic variables and their meanings - terms. Fuzzification of the observed monitoring transport dynamic process communications can be presented in the form of a dynamic function double transformation. Algorithmization of this procedure is possible by determining the compliance of the observed dynamic processes characteristics to the procedures for estimating terms using the membership function of the linguistic variable characterizes this process.

**Keywords:** fuzzy logic, fuzzification, monitoring of transport communications, information and computer complex.



S. Alyoshin, E. Borodina, O. Haitan, O. Zyma

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

## NEURAL NETWORK SUPPORT FOR INTROSCOPY OF INTERNAL STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE BUILDING CONSTRUCTIONS

**Abstract.** Introscopy is a process of contactless, non-destructive analysis of the internal structure of an object or processes in it using X-ray radiation, optical, acoustic, ultrasonic, seismic, electromagnetic waves of various ranges, modulation and coding principles. Its implementation involves methods for obtaining shadow, tomographic, radar and other images of the object of study. The resulting image contains information about the object. Image analysis and decision-making about the object structure or its condition is carried out by an expert (operator). Obviously, the decision is made subjectively; its effectiveness depends on the qualification of the expert and can be significantly reduced because of the increasing number of errors and analysis time. In real conditions, the classification of the state of the object of study with a significant number of signs, with their unstable or uninformative degree of knowledge extraction, seems to be not a trivial task. To date, however, image recognition technologies based on artificial intelligence technologies have been developed and implemented that make it possible to synthesize neural network classifiers in vision systems that are invariant to the physical features of feature spaces of the studied object images. For introscopy technology, it has been prepared a neural network information-analytical, software and instrumental basis for solving the task of automating of the process of image visualization and its identification in the paradigm of designing and recognizing images in the space of shadow, tomographic, multi-view signs using statistical decision rules. The developed technology is represented in the form of an ensemble of neural network classifier models that implemented as independent software applications in the main code of an existing technical analysis package, for example, the neuro-emulator of StatSoft environment. The synthesis of classifier models according to the input data of images based on shadow and tomographic raster sweeps in a standard package of neuroemulators allows us to solve the problem with minimal cost and required quality indicators. Studies of the characteristic spaces of the introscopy process, the possibilities for the correct application of statistical decision rules, algorithms for the compulsory training of synthesized neural network models in the basis of existing technical data packages can improve the productivity of introscopy equipment by automating the analysis process, reducing the impact of subjective decisions, and reducing reaction times.

**Keywords:** analytical complex, introscopy, neural network, resilient backpropagation, real-time classifier.

### Introduction

Introscopy is a process of contactless, non-destructive (non-invasive) analysis of the internal content, structure of an object or processes in it using X-ray, optical, acoustic, ultrasonic, seismic, electromagnetic waves of various ranges, modulation and coding principles [1].

Introscopy provides visual observation of the internal structure of objects and processes in optically non-transparent media, as well as in conditions of poor visibility due to natural or deliberate masking factors. Introscopy is carried out by means of visualization of the spatial distribution of penetrating radiation and fields in the frequency spectrum of the entire developed range of electromagnetic oscillations of electric fields, as well as the fluxes of elementary particles.

The scope of introscopy is quite wide [1, 2]. This is medical and technical diagnostics, analysis of macro-objects and processes occurring in them (observation of objects under water, in the thickness of rocks and glaciers, in clouds, fog, etc.). Each area of this technology application has its own characteristics associated with the visualization of the object of study, its recognition and analysis of the internal structure and properties, the choice of performance criteria with limited resources. Let us consider the possibilities of introscopy technology in relation to the field of

construction, for the tasks of analyzing the state of the internal structure and properties of construction objects (bridge supports, overpasses, building foundations, road pavement, waterproof and heat saving properties of coatings, etc.)

The basis of introscopy involves methods for obtaining shadow, tomographic, radar, and other images of the object of study using optical, acoustic, electromagnetic or X-ray radiation.

Information about the structure and properties of the object of study is contained in the resulting image (snapshot), which can be multi-angle, shadow and tomographic [3,4,5]. The existing analytical complexes (AC) are intended for introscopy of large-sized objects having significant size, weight, composition of construction materials. By mobility, ACs are classified into fixed, relocated, and mobile. An expert (operator of the introscope) performs image analysis and decision making depending on the structure and properties of the object of study. Obviously, the decision is made subjectively, based on knowledge, qualification, and experience. In the conditions of aging, normal wear and tear or violation of the technology of manufacturing components, the expert may have difficulties with accurate and rapid identification of the object state. It is reasonable to automate this process by transferring the functions of image analysis to a program that recognizes images of the internal structure and properties of the

objects of study, compares them with the appropriate conclusion, which improves performance, speed and reduces costs [6, 7].

The technical characteristics of existing joint stock companies provide the ability to visualize the internal structure of objects of study, their properties and ingredient composition, recognition of missing or non-conforming ingredients, their density, thermal conductivity, insulating properties, etc.

The equipment allows for a detailed, fragmentary view of individual zones of the object of study and its contents and magnification of the image several times. The time of introscopy of one large object is 15-30 minutes [1, 2].

The ultimate goal of introscopy is to establish the affiliation of the studied objects to certain groups, types, classes, to identify characteristic structural defects, signs of aging, loss of working properties, hidden defects, inconsistencies with technical conditions and state standards in controlled objects.

In the process of this action, the operator of the introscope analyzes a visual image of the internal contents of the objection the installation screen, and classifies the object of study according to the set of characteristic individual features [4, 5].

The most difficult and important is the knowledge of the set of characteristic features and their connection with the required characteristics of the objects of study. However, the proposed technology allows, on the one hand, to use the existing database [1, 2], on the other – to create this database on its own, forming a representative sample of examples in the process of production of building structure components.

In the course of AC operation, one of its most important problems was revealed – it is the excessive dependence of the analysis result on the human factor in the operation of the analysis system. The lack of appropriate data mining technologies that can support decision-making by the operator or, in general, assign this task to a computer program is emphasized as a disadvantage. At present, it is problematic for the fleet of operated ACs to fully automate the operational analysis of building structures. Secondly, the analysis time depending on the type of AC is 15-30 minutes or more, which significantly limits the throughput and leads to economic losses.

Thus, in the trend of total digitalization of economy, automation and robotization of production in the paradigm of the growing new technologies, there is a practical need for information and technical support for the state of existing ACs in order to increase their efficiency and competitiveness in the market for analytical analysis of building structures.

### **Analysis of the possibilities of AC information and analytical support**

The well-known specialists in this field [1–5] were engaged in the development, theoretical substantiation, and introduction of the technology of introspecting objects: P.N. Afonin – theory and practice of using technical means of control; V.A. Soifer, U. Pratt –

computer and digital image processing; S.K. Ternovoy, E.N. Simonov – X-ray computed tomography; G.M. Agadzhanian, A.P. Krasnitsky – vision systems and others. As a result of their activity, the technologies of functioning of the existing IDC have been created.

However, scientists V.M. Glushkov, T. Kohonen, S. Khaikin, R. Hecht-Nielsen and others [7] developed, theoretically substantiated and implemented in practice technology of recognition, prediction, adaptation based on artificial intelligence technology. Their activities have brought into existence:

- fundamental principles of recognition and methods of applied theory of artificial intelligence in technical systems;
- approaches to the design and modeling of technical vision systems invariant to the physical features of the feature spaces of the studied images of objects and phenomena;
- methods and algorithms of multilevel differential diagnostics in various subject areas;
- algorithmic and software products for operational multivariate data analysis in the tasks of classification and forecast;
- complex qualimetry of basic processes of complex technical systems.

Thus, there is an information-analytical, software and instrumental basis for successfully solving the task of automating of the process of image visualization and its identification in the paradigm of designing and recognizing images in the space of shadow, tomographic, multi-view signs using statistical decision rules under given constraints.

**Purpose of the study** is increasing the productivity of technical means of introscopy based on neural network support for analyzing video images in order to automate the analysis process, reduce erroneous decisions, to reduce reaction time during decision making, and to minimize the potential damage. The developed technology will be represented in the form of an ensemble of neural network classifier models that implemented as independent software applications in the main code of an existing technical analysis package, for example, the neuro-emulator of Stat Soft environment.

### **Formulation of the problem**

Formalization of the process of classifying the internal structure of the object of study is mapping the input vector of data to the result of the examination, and approximating the dependence “object – class”. Generally, the signs of behavior and the number of object classes are vector quantities. The analysis task is to convert the primary features of object images into an array of raster scan elements followed by fixation, digitization of the luminous intensity of compact objects and their identification based on the generated databases and synthesized patterns of image classification in the space of selected shadow, tomographic, multi-view informative features.

If we accept the implementation of the technology of forming the array of features presented in the sources

[1-4] and describe the corresponding classes of the studied images according to the method described in [5,6], then formally the research task can be represented as [7]:

$$\begin{aligned} & \text{Sup}K_E(S, P, X, T_k); \\ & \mathfrak{R}u(\Delta T) \leq A_0; \quad , \quad (1) \\ & \mathfrak{R}u(\delta) \leq B_0, \end{aligned}$$

where  $s \in S$ ,  $S$  is the set of the current state of the object;

$p \in P$ ,  $P$  is the set of the forecasts of the object state;

$x \in X$ ,  $X$  is the set of the input factors;

$T_k, k \in \{0, 1, 2, \dots\}$  are decision points;

$K_E$  is a performance criterion;

$\Delta T, \delta$  are the time interval for making a decision and the current degree of the model adequacy, respectively;

$\mathfrak{R}u(\Delta T)$  is expected damage from delayed decision;

$\mathfrak{R}u(\delta)$  is expected damage from the degree of the model inadequacy;

$A_0$  is allowable damage from the decision at the border RT;

$B_0$  is allowable damage from errors on the control set.

The main task of the analysis is to assess the internal structure and properties of the object of study, therefore, we formally consider this process to the level of the decision rule. Let there be a list of objects in a certain subject area  $W$ , where

$$W = \{\omega_g\}, g \in \bar{I} = \{1, 2, \dots, I_m\}$$

and let their belonging to some classes be fixed  $\Omega_p, \Omega_g = \{1, 2, \dots, J_i\}$ .

The problem of classifying them to a particular class is solved with certain errors and time expenditures. If limitations were not taken into account, the whole set of features could be used regardless of their information capabilities. Otherwise, recognition algorithms should include temporary ( $t < T_0$ ) and material ( $s < S_0$ ) restrictions where  $T_0$  and  $S_0$ , respectively, are the allowable (disposable) time and material resources for the implementation of software and tools in the task of recognizing objects or their states. At the same time, the power of the decision rule  $M$  must not be lower than the specified one ( $M_0$ ): ( $M > M_0$ ). Then, you can group objects by analyzing and grouping their feature spaces.

Grouping of objects, taking into account the analysis of the compactness of their features, can be formally represented by a functional [7]:

$$G = F \left[ r(\Omega_p); R(\Omega_p, \Omega_g); A(\omega, \{\omega_g\}) \right], \quad (2)$$

where  $r(\Omega_p)$  is removing traits inside a class;

$R(\Omega_p, \Omega_g)$  is removing traits in different classes;

$A(\omega, \{\omega_g\})$  is an object allocation rule  $\omega_g$  from the set  $\omega$  – to the class  $\Omega_k : \omega_g \in \Omega_k$  provided that

$$\begin{aligned} & A(\omega, \{\omega_g\}) = \max_i A(\omega, \{\omega_i\}), \\ & (M > M_0), (t < T_0), (s < S_0). \end{aligned}$$

In this case, the objects should be grouped in the format:

$$\mathfrak{R}_0(\omega_{pk}, \omega_{gl}) = \sum_{j=1}^N (x_{pk}^{(j)} - x_{gl}^{(j)}) -$$

metric of compactness of signs in classes  $p, g$  in the analysis of  $k, l$  – objects of  $j$  – type.

Thus, we have a formulated optimization problem of identifying the internal structure of the object of study, the implementation of which requires a software and instrumental justification and adequate models for obtaining practical results.

The basis of solving the problem is the principle of extracting knowledge through the implementation of model learning processes with modification of weighted synaptic coefficients and adapting the criterion of its productivity by selecting the optimal set of input features for information value and material costs over a set time [6, 7].

Analysis of existing software and hardware has led to the conclusion about the feasibility of using technical data analysis packages as basic tools, which implement training procedures, data exploration, dimension reduction algorithms and the fundamental possibility of quantifying the information value of the input set of factors [7]:

$$|Y(t)| = F|X(t)|,$$

where  $|Y(t)|$  is an object state class number;

$|X(t)|$  is an input feature vector;

$F$  is the functional of converting an array of attributes into a class number, as a set of procedures for describing classes in the language of their attributes, preprocessing data, reducing the dimension of the input vector, standardizing inputs, synthesizing models and learning them, interpreting results.

It is proposed to use the trained artificial neural network with the reverse spread of the error as a tool for automatic recognition of the state as the basis of classification [6].

Solving a problem of the form (2) with constraints from the general problem (1) requires satisfying the decision condition in real time (RT). This is possible when taking into account the following features:

- comprehensive consideration of the probable damage from the time of decision-making and the degree of the models adequacy in the process of finding the optimal solution;

- consideration of features of the subject area of the object, determining the system of constraints in (1);

- use of specialized software and its adaptation to the subject area of the object of study;
- need to correct and introduce additional information in the process of finding a solution.

To account for time constraints in the synthesis process of an adequate classifier model, a formal transformation

$$F : X \rightarrow Y, X \subset \mathfrak{R}^m, Y \subset \mathfrak{R}^k, \quad (3)$$

must be performed at the additional condition that

$$R(M, O) \geq \delta \geq 0, \Delta t \leq \Delta T_0, \quad (4)$$

where  $X$  is these of samples of object description attributes;

$Y$  is multiple states of an object;

$$X^m = \{x_1, x_2, \dots, x_m\} \subset X -$$

is a final array of training samples;

$F$  is a functional transformation of the space of observations (features) into the space of states (decisions);

$\Delta T_0$  is scheduled (maximum permissible) decision time;

$k$  and  $m$  are the dimension of the states (the volume of the alphabet of classes) and the dimension of the factors (the volume of the dictionary of attributes), accordingly;

$R(M, O)$  is the distance between an object and its model in a certain metric space with a given metric  $r(a, b)$ ,

$\delta$  is the permissible inadequacy limit in a given metric space.

### Building of a real-time classifier

The basis of building an RT classifier is the technology of solving the problem of building adequate models of basic processes for a limited time.

In the neural network format, the degree of models adequacy was evaluated on the basis of the analysis of their learning errors, and the efficiency of their construction was evaluated by the training time.

The analysis of the capabilities of the neuro-emulators package of the Stat Soft environment in the format of the Statistika Neural Network module [8] revealed the potential possibilities for accelerating the preparation of input data, the choice of architectures and training methods, and verification of the decision made. In total, at application of a certain technology [6,7], the following tasks are solved:

1. Operational data import, which allows speeding up the interactive formation of a training set in a given data presentation format.

2. The transition from an interactive, empirical choice of neural network architecture to an intelligent and automatic one, based on the recognition of the most accurate and reliable models and forecasts.

3. The use of the ensemble of models as a collective expert in order to identify the best of several models with different teaching methods, characteristics

and parameters, which allow us to vary the technological modes in a wide range.

4. Construction and application of fast learning algorithms with a modification of the synaptic space in cycles of epochs with a pilot tracking of current errors, to automatically search for a compromise between the reliability of the decision made and the speed of its adoption.

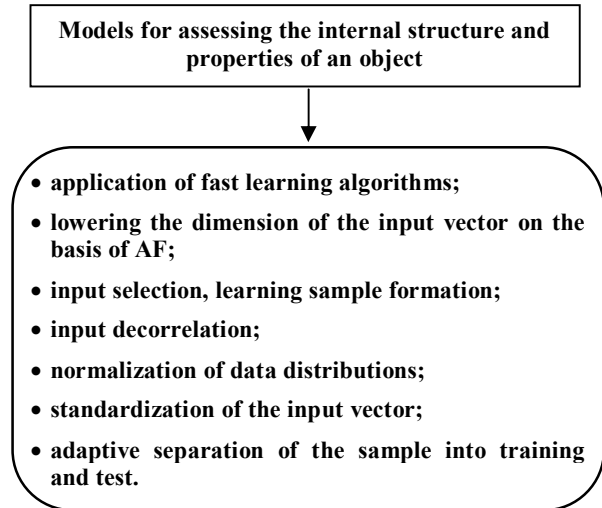


Fig. 1. The structure of accelerating processes in the object classifier

5. Creation of independent applications using the main program code, previously trained for typical situations of the complex on an array of precedents in a specific subject area, requiring only finishing training under the selected constraints. It also reduces the total time to build and adapt the model when classifying:

With this classifier modeling structure, resolve the operational response problem while decision making is reduced to the implementation of these functions by creating algorithms and programs for displaying an array of input data on the state of an object, taking into account the scheduled time.

To simulate an RT classifier, it is advisable to investigate the capabilities of the Stat Soft data technical analysis package with the STATISTICA Neural Networks neural network module [8]. Then the synthesis of models of basic processes is realized in the space of procedures that accelerate the adaptation of models within the boundaries of the chosen disciplining conditions.

### Fast learning of classifier models and descent to global extremum

The network input receives many pairs of training vectors  $\{x, d\}$ , where  $\{x\}$  is an input vector, and  $\{d\}$  is a true output feature vector of the object of study,  $\{y\}$  is reaction set of the neural network to the input  $\{x\}$ . The difference between  $\{y\}$  and  $\{d\}$  ( $E = \|y - d\|$ ) is the essence of the training error.

With the mean square form of the error measure we get:

$$E = \frac{1}{SM} \sum_{i=1}^S \sum_{j=1}^M (y_j^i - d_j^i)^2, \quad (5)$$

where  $S$  is a number of training pairs,  $M$  is an output vector dimension.

The task of a neural network learning is reduced to the search for values of weights  $w_i, j(k)$ , to learning error  $E$  less than some value  $\varepsilon (E < \varepsilon)$  when fulfilling the disciplining conditions in (1).

Simplified learning algorithms [7], for which high convergence rate, as a key quality criterion, is provided with low gradient calculation error requirements, allow realizing network training in real time.

The RPROP (resilient backpropagation) [7] algorithm solves this problem by calculating gradient signs. The algorithm does not depend on the accuracy of the calculation of the values of the derivatives, but analyzes only the ratio of signs of increments according to the rule:

$$\Delta_l^{(i)} = \begin{cases} \eta^+ \Delta_l^{(i-1)}, & \text{if } \frac{\partial E(w)^{(i-1)}}{\partial w_l} \cdot \frac{\partial E(w)^{(i)}}{\partial w_l} > 0 \\ \eta^- \Delta_l^{(i-1)}, & \text{if } \frac{\partial E(w)^{(i-1)}}{\partial w_l} \cdot \frac{\partial E(w)^{(i)}}{\partial w_l} < 0 \\ \Delta_l^{(i-1)}, & \text{if } \frac{\partial E(w)^{(i-1)}}{\partial w_l} \cdot \frac{\partial E(w)^{(i)}}{\partial w_l} = 0 \end{cases}, \quad (6)$$

where  $0 < \eta^- < 1 < \eta^+$  and is determined empirically.

The increment value is adjusted by a fixed value.  $\eta^+$  when the algorithm converges to a minimum and the derivative does not change sign. This speeds up the process on flat areas and slows down the search, in the case of missing a local minimum.

Then we determine the magnitude of changes in weights in accordance with the direction of decreasing gradient.

$$\Delta w_l^{(i)} = \begin{cases} \Delta_l^{(i)} \cdot \text{sgn} \left[ \frac{\partial E(w)^{(i)}}{\partial w_l} \right], \\ \text{if } \frac{\partial E(w)^{(i-1)}}{\partial w_l} \cdot \frac{\partial E(w)^{(i)}}{\partial w_l} \geq 0 \\ -\Delta_l^{(i)}, & \text{if } \frac{\partial E(w)^{(i-1)}}{\partial w_l} \cdot \frac{\partial E(w)^{(i)}}{\partial w_l} < 0 \end{cases}, \quad (7)$$

where  $\text{sgn}[*]$  is a function sign. The change in the sign of the derivative error in the next step indicates the function minimum. This result requires a return to the previous weight value  $w_l^{(i-1)}$ . The gain in time is obvious. The algorithm is based on determining only the sign of the product of the derivatives of functions in the

current and previous step. Modification of the synaptic space in this way requires a significantly smaller number of operations, compared to the classical method of error back propagation [6].

To find corrections to the weights of the elements, it is necessary to carry out the following calculations [7]:

#### Step 1.

If the measured value is

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t-1) \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) > 0,$$

the corrections are calculated:

$$\begin{aligned} \Delta_{ij}(t) &= \min(\Delta_{ij} \cdot \eta^+, \Delta_{max}), \\ \Delta w_{ij}(t) &= -\Delta_{ij}(t) \cdot \text{sign} \left[ \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) \right], \\ \Delta w_{ij}(t+1) &= w_{ij}(t) + \Delta w_{ij}(t). \end{aligned} \quad (8)$$

#### Step 2.

If the measured value is

$$\left( \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t-1) \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) < 0 \right),$$

the corrections are calculated:

$$\begin{aligned} \Delta_{ij}(t) &= \max(\Delta_{ij} \cdot \eta^-, \Delta_{min}), \\ \Delta w_{ij}(t+1) &= w_{ij}(t) - \Delta w_{ij}(t-1), \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

#### Step 3.

If the measured value is

$$\left( \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t-1) \cdot \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) = 0 \right),$$

the corrections are calculated:

$$\begin{aligned} \Delta w_{ij}(t) &= -\Delta_{ij}(t) \cdot \text{sign} \left[ \frac{\partial E}{\partial w_{ij}}(t) \right], \\ \Delta w_{ij}(t+1) &= w_{ij}(t) + \Delta w_{ij}(t). \end{aligned} \quad (10)$$

Initial increment values  $\Delta_l(0)$  are randomly selected from the range (0,1).

Options  $\Delta_{min}$  and  $\Delta_{max}$  are selected empirically based on multiple experiments with models and their values are as follows  $\Delta_{max} = 40$  and  $\Delta_{min} = 10^{-4}$ .

Thus, the network learning algorithm for classifier modeling is not critical to the accuracy of the calculation of partial derivatives, since it analyzes not absolute increments, but only the ratio of signs of these increments. At the same time, the volume of computational operations is reduced by several times, which reduces the total time of model adaptation.

For various simulation conditions on test samples of examples, an ensemble of productive neural networks was obtained, which qualitatively confirm the efficiency of the proposed technology of classifier synthesis in real time. Some difficulties arise in the formation of a representative sample of precedents, but this does not violate the logic and content of the implemented classifier synthesis algorithms.

Therefore, the proposed technology can be useful in upgrading the introspection complexes with a certain refinement of the source database.

### Conclusions

1. Neural network support of introscopy technology is technologically and practically feasible. To automate the procedure for identifying the objects of analysis in stationary and mobile complexes of

screening analysis in order to improve the quality of classification in real time, it is constructive to use the technology of automatic recognition machine synthesis based on artificial neural networks. This problem is solved using classical multilayer perceptrons as a direct recognition problem.

2. The synthesized models of classifiers on the basis of the input data of images based on shadow and tomographic raster sweeps showed satisfactory performance and revealed prospects for their introduction into the real introscopy process. At the same time, the main efforts should be directed to the formation of a base of a representative sample of precedents, and the synthesis of models should be carried out in the environment of standard neuro-emulators, which will make it possible to solve the task at minimal cost.

### REFERENCES

1. Soroko L.M. Introskopiya. M.: Energoatomizdat, 1983. – 126 p.
2. Afonin P.N., Sigayev A.N. Teoriya i praktika primeneniya tekhnicheskikh sredstv tamozhennogo kontrolya: uchebnoye posobiye. SPb: Troitskiy most, 2013. – 256 p.
3. Oshchepkov P.K., Pirozhnikov L.B. Okruzhayushchiy mir prozrachen. M.: Znaniye, 1980. – 64 p.
4. Pretti U. Tsifrovaya obrabotka izobrazheniy. M.: Mir, Vol. 1, 2. 1982.
5. Agadzhanyan G.M., Krasnitskiy A.P., Korneyev V.N. Informatika i tekhnologiya. Sistema tekhnicheskogo zreniya. – IBPRAN, 1996. – 215 p.
6. Haykin S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, 2nd Edition. McMaster University, Ontario Canada, 1998, 842 p.
7. Aloshin S.P. Neyrosetevoy bazis podderzhki resheniy v prostranstve faktorov i sostoyaniy vysokoy razmernosti. – Poltava: Izd. «Skaytek», 2013. – 208 p.
8. Borovikov V.P. STATISTICA NN – Tekhnicheskoye opisanie. M.: Mir, 1999. – 239 p.

Received (Надійшла) 14.07.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.08.2020

### Нейромережева підтримка інтроскопії внутрішньої структури та параметрів будівельних конструкцій

С. П. Альошин, О. О. Бородіна, О. М. Гайтан, О. Є. Зима

**Анотація.** Інтроскопія – процес безконтактного, неруйнівного аналізу внутрішньої структури об'єкта або процесів у ньому за допомогою рентгенівського випромінювання, оптичних, акустичних, ультразвукових, сейсмічних, електромагнітних хвиль різного діапазону, принципів модуляції і кодування. В її реалізації задіяні методи отримання тінювих, томографічних, радіолокаційних та ін. зображень об'єкта дослідження, в яких міститься інформація про даний об'єкт. Аналіз зображення і прийняття рішення про структуру об'єкта або його стан здійснює експерт (оператор). Ефективність аналізу залежить від кваліфікації експерта і може істотно знижуватися за рахунок зростання числа помилок і часу аналізу. У реальних умовах класифікація стану об'єкта дослідження при значній кількості ознак, з їх нестабільним або малоінформативним ступенем отримання знань представляється нетривіальним завданням. На сьогоднішній день розроблені і впроваджені в практику технології розпізнавання зображень на основі штучного інтелекту, що дозволяють синтезувати нейромережеві класифікатори в системах технічного зору, інваріантних до фізичних особливостей ознакових просторів досліджуваних образів об'єктів. Для технології інтроскопії підготовлена нейромережева інформаційно-аналітична, програмна та інструментальна основа для вирішення завдання автоматизації візуалізації зображень і їх ідентифікації в просторі тінювих, томографічних, багаторакурсних інформативних ознак із застосуванням статистичних вирішальних правил. Розроблена технологія представлена у вигляді ансамблю нейромережевих моделей класифікаторів, реалізованих самостійними програмними додатками в основному код існуючого пакету технічного аналізу, наприклад, нейроемулатора середовища StatSoft. Синтез моделей класифікаторів за вхідними даними образів на основі тінювих і томографічних растрових розгортки в стандартному пакеті нейроемулатора дозволяє вирішувати задачу при мінімальних витратах і необхідних показниках якості. Проведені дослідження ознакових просторів процесу інтроскопії, можливостей коректного застосування статистичних вирішальних правил, алгоритмів примусового навчання синтезованих нейромережних моделей в базисі існуючих пакетів технічних даних дозволяють підвищити продуктивність технічних засобів інтроскопії шляхом автоматизації процесу аналізу, зниження впливу суб'єктивних рішень, скорочення часу реакції.

**Ключові слова:** аналітичний комплекс, інтроскопія, нейронна мережа, метод зворотного поширення помилки, класифікатор реального часу.

С. Ю. Гавриленко, І. В. Шевердін

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

## ІДЕНТИФІКАЦІЯ СТАНУ КОМП’ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ АНСАМБЛЕВОГО МЕТОДУ КЛАСИФІКАЦІЇ

**Анотація.** Предметом статті є дослідження методів ідентифікації стану комп’ютерної системи. Метою статті є розробка методу ідентифікації аномального стану комп’ютерної системи на основі ансамблевих методів. **Завдання.** Дослідити та виділити події операційних системах сімейства Windows, розробити програмне забезпечення для виділення подій; дослідити використання ансамблевих класифікаторів на основі беггінгу та бустінгу та дерева рішень для ідентифікації стану комп’ютерної системи. Використовуваними методами є: методи машинного навчання та ансамблеві методи класифікації. Отримано такі **результати:** У якості вихідних даних виділено наступні класи подій операційних системах сімейства Windows: події міжпроцесної комунікації, події взаємодії з файловою системою, події інтернет-з’єднання, події взаємодії з реєстром. Досліджено методи ідентифікації аномального стану комп’ютерних систем на базі ансамблевих методів, а саме беггінгу, бустінгу та дерева рішень J48 для ідентифікації стану комп’ютерної системи. Виконано оцінку ефективності розроблених ансамблевих класифікаторів. За результатами досліджень для ідентифікації стану комп’ютерної системи запропоновано ансамблевий метод класифікації на основі беггінгу та дерева рішень J48. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає у виділенні процесів функціонування комп’ютерної системи та створенні ансамблевого методу для на основі беггінгу та дерева рішень J48, що надає можливість підвищити точність ідентифікації стану комп’ютерної системи.

**Ключові слова:** комп’ютерна система, події операційної системи, машинне навчання, аномальний стан, дерева рішень, ансамблеві методи класифікації, бустинг, беггінг.

### Вступ

Активне впровадження комп’ютерних систем у всі види діяльності суспільства, постійне зростання їх обчислювальної потужності, використання комп’ютерних мереж різного масштабу привели до того, що загрози втрати конфіденційної інформації в системах обробки даних стали невід’ємною частиною практично будь-якої діяльності і потребують захисту. Безпечне функціонування таких систем на сьогодні є пріоритетним напрямком і визначає роль держави на міжнародній арені та є актуальним завданням. На сьогодні комп’ютерна система характеризується великим обсягом показників її функціонування. Одним із найбільш поширених методів аналізу великих обсягів даних (*data mining*) є методи машинного навчання (*machine learning*) які збудовані таким чином, щоб безпосередньо працювати з величезними масивами інформації.

**Постановка проблеми та огляд наукових публікацій.** В основі машинного навчання лежить інтелектуальний аналіз даних (*Data mining*) – багатоетапний автоматизований ітеративний процес виявлення знань в базах даних, заснований на аналізі величезних масивів інформації з метою виявлення прихованих моделей [1-3]. Для аналізу даних і класифікації використовуються складні математичні алгоритми, що базуються на машинних методах навчання: класичні методи [4], методи навчання з підкріпленням [5], дерева рішень і ансамблеві методи [6, 7], нейромережі і глибоке навчання [8] та ін. Найбільш популярні алгоритми машинного навчання наведено в [9]. Серед них – ансамблеві методи, які базуються на об’єднанні базових класифікаторів [10].

В [11] виконано порівняльне дослідження різних методів побудови ансамблів. Однак в даних роботах не наведено дослідження ефективності використання різних методів побудови дерев рішень у

сукупності з різними ансамблевими методами прийняття рішень.

Крім того, наявність різних типів даних, що характеризують стан функціонування комп’ютерної системи потребує їх аналізу у сукупності з дослідженням методів побудови класифікаторів для вирішення завдань ідентифікації стану комп’ютерної системи. **Постановка завдання.** Метою статті є дослідження та розробка методу ідентифікації стану комп’ютерної системи на основі ансамблевих класифікаторів.

### Формування вихідних даних

Аналіз подій операційної системи надає можливість оцінити стан комп’ютерної системи. В операційних системах сімейства *Windows* всі події можна поділити на 4 основні типи: події міжпроцесної комунікації, події взаємодії з файловою системою, події інтернет-з’єднання, події взаємодії з реєстром операційної системи [12]. Для збору подій комп’ютерної системи використано програмний додаток “Process Monitor”. Зібрано статистику процесів для нормального та аномального режимів (табл. 1)

Кожний із процесів характеризується наступними атрибутами:

1. Process Name – ім’я процесу;
2. Operation – тип операції (наприклад: (RegOpenKey, CloseFile and etc.);
3. Image Path – шлях до реєстру, наприклад: C:\Users\VirtualUser\Desktop\ZipFileSystemZipper.CSV або HKCU\Software\Classes\CLSID\{56AD4C5D-B908-4F85-8FF1-7940C29B3BCF}\Instance;
4. Result – результат виконання операції, наприклад: SUCCESS, REPARSE, NAME NOT FOUND, BUFFER OVERFLOW та ін.;
5. Event Class – тип події (реєстр, міжпроцесна комунікація, інтернет комунікація, виведення на носії, наприклад: File System, Registry та ін.);



6. Image Path – шлях до виконуваного файлу, який ініціював подію (наприклад: C:\Windows\Explorer.EXE);

7. Company – розробник програмного продукту та процесу, який ініціював цю подію, наприклад: Microsoft Corporation;

8. Description – опис програмного компоненту, наприклад: Windows Explorer;

9. User – ім'я користувача, який ініціалізував процес, наприклад: DESKTOP-159T3OE\VirtualUser;

10. Command Line – параметри командного рядка, наприклад: C:\Windows\System32\svchost.exe -k LocalServiceNetworkRestricted -p;

11. Integrity – пріоритет і важливість виконуваної події, наприклад: System, Medium, High, Low;

12. Category – тип операції, наприклад: read, write, read metadata, write metadata та ін.;

13. Authentication ID – ID користувача з метою виявлення перейменування користувачів і груп, наприклад: 00000000:000270cb;

Таблиця 1 – Статистика процесів

№	Назва процесу	Зміст процесу
<i>Нормальний режим</i>		
0	SystemProcesses_0	події КС, зібрані в режимі очікування;
1	SystemProcesses_1	події КС, зібрані в режимі очікування після активного використання;
2	ZipFileSystemZipper	події КС, зібрані при архівації вбудованим компонентом в провідник ;
3	OpenFoldersAndFiles	події КС, зібрані при відкритті директорій і файлів;
4	ExtractFilesSystemZipper	події КС, зібрані при розархівуванні вбудованим компонентом в провідник;
5	EditingTxtFile	події КС, зібрані при відкритті та редагуванні файлу;
6	DeleteToRecycleBin	події КС, зібрані при видаленні файлів з директорії в кошик;
7	DeleteFilesPerm	події КС, зібрані при видаленні файлів без приміщення в кошик;
8	CopyFiles71	події КС, зібрані при копіюванні 71 файлу;
9	CopyFiles	події КС, зібрані при копіюванні 10 файлів.
10	ZipFile7Zip	події, КС зібрані при архівування програмою 7Zip;
11	ExtractFiles7Zip	події КС, зібрані при розархівуванні програмою 7Zip.
<i>Аномальний режим</i>		
12	VirusPetya	системні і шкідливі події на прикладі роботи вірусу Petya;

Використовуючи параметри Process Name і Image Path можна з точністю ідентифікувати ініціатора події, наприклад, конкретний виконуваний файл і його процес.

### Розробка ансамблевого методу класифікації

У якості інструменту для аналізу стану КС та оцінки ансамблевих класифікаторів було обрано ПЗ “Weka (Waikato Environment for Knowledge Analysis)” [13], яке містить набір засобів віртуалізації і компонентів для інтелектуального аналізу даних та вирішення завдань прогнозування.

Функціонал програми дозволяє виконати завдання аналізу даних, кластеризації, регресійний аналіз та ін.

За результатами попередніх досліджень, у якості класифікатора використано метод на основі дерева рішень J48.

Алгоритм J48 є аналогом алгоритму C4.5, який реалізовано на мові Java у додатку Weka. Алгоритм C4.5 є вдосконаленою версією алгоритму ID3 до якого була додана процедура відсікання гілок (Pruning), можливість роботи з числовими атрибутами, а також можливість побудови дерева з неповною навчальною вибіркою, в якій відсутні значення деяких атрибутів.

Алгоритм C4.5 вибирає атрибут на підставі нормалізованого приросту інформації або інформаційної ентропії (Gain Ratio):

$$H = -\sum_{i=1}^n (N_i/N) \cdot \log(N_i/N)$$

де  $n$  – число класів у вихідній підмножині,  $N_i$  – число прикладів  $i$ -го класу,  $N$  – загальна кількість прикладів в підмножині.

Для підвищення ефективності ідентифікації стану КС досліджено ансамблеві класифікатори на основі бегтінгу та бустінгу.

Ефективність роботи класифікаторів була оцінена такими показниками:

1. Час навчання (*Learning time*);
2. Час тестування (*Testing time*);
3. Кількість визначених та невизначених (*Known and Unknown Instances*) об'єктів в абсолютному значенні;
4. Кількість правильно класифікованих об'єктів в абсолютному та процентному значенні (*Correctly Classified Instances*);
5. Кількість неправильно класифікованих об'єктів в абсолютному та процентному значенні (*Incorrectly Classified Instances*);
6. Абсолютна помилка класифікації (*Relative absolute error, RAE*);

7. Відносна квадратична помилка класифікації (*Root relative squared error, RRSE*);

Спочатку, у якості навчальної вибірки для класифікатора використано статистику процесів *System Processes\_0*, зібрану в режимі очікування для нормального стану функціонування КС. Результати моделювання дозволили отримати два класифікатора на основі бегінгу та бустінгу, кожний із яких є ансамблем дерев рішень J48.

Отримані класифікатори надалі були використані для оцінки стану КС.

У якості тестової вибірки використано статистику процесів для нормального та аномального режимів, наведену в табл. 1 (рядки 1-12).

Результати тестування КС на основі бустінгу наведено в табл. 2. У якості алгоритму прийняття рішень ансамблевого класифікатора на основі бус-

тингу використано алгоритм *AdaBoostM1*. Вибірка для тренування містить 23145 подій нормальної та аномальної роботи системи. Коренем дерев є назва процесу, що надає змогу виявити відхилення у роботі системних процесів.

Як видно із табл.2, має місце значне збільшення кількості нерозпізнаних подій (*Unknown Instances*) особливо для аномальних процесів. Так для вірусного процесу *VirusPetya* кількість невизначених подій складає 203843. Крім того процес характеризується наявністю неправильно класифікованих об'єктів (0,1451%), наявністю абсолютних значень некоректних подій (574 події), абсолютної помилки класифікації (0,1573), відносної квадратичної помилки класифікації (4,0078).

Дані показники є індикаторами зміни роботи системи.

Таблиця 2 – Результати тестування КС на основі бустінгу назви процесу

Назва процесу	Learning time, c	Testing Time, c	Total Instances	Unknown Instances	Correctly	Correctly Classified Instances, %	Incorrectly	Incorrectly Classified Instances, %	RAE	RRSE
SystemProcesses	0.05	0.01	1476	179	1297	100	0	0	0	0
ZipFile7Zip	-	7.38	87702	13834	73868	100	0	0	0	0
ZipFileSystemZipper	-	10.72	83788	6096	77692	100	0	0	0	0
OpenFoldersAndFiles	-	31.64	242901	11065	231836	100	0	0	0	0
ExtractFilesSystemZipper	-	30.63	275014	73	274941	100	0	0	0	0
ExtractFiles7Zip	-	3.25	45654	16346	29308	100	0	0	0	0
EditingTxtFile	-	7.9	85464	18469	66995	100	0	0	0	0
DeleteToRecycleBin	-	1.86	55894	79	55815	100	0	0	0	0
DeleteFilesPerm	-	0.53	36969	28	36941	100	0	0	0	0
CopyFiles71	-	2.54	89807	3092	86715	100	0	0	0	0
CopyFiles	-	0.4	25731	172	25559	100	0	0	0	0
VirusPetya	-	435.03	599514	203843	395097	99.8549	574	0.1451	0.1573	4.0078

Таким чином, класифікатор на основі бустінгу та дерева рішень J48 дозволив виявити тільки невелику кількість аномальних подій вірусу Petya. Однак, події інших програм, наприклад 7Zip, були не виділені, хоча вони не брали участі в навчальній вибірці. Ознакою наявності нового процесу було тільки зростання кількості невизначених подій, а саме – 16346. Всі події крім *VirusPetya* не були розпізнані, хоча не входили до навчальної вибірки. Таким чином, чутливість класифікатора є невеликою. Алгоритм лише частково впорався з поставленим завданням ідентифікації аномального стану, вплив на систему додаткових процесів не був виявленим.

Результати тестування КС на основі бегінгу показали наступну статистику (табл. 3).

Як видно із табл. 3 також має місце значна кількість нерозпізнаних подій (*Unknown Instances*),

особливо для аномальних процесів. Так для вірусного процесу *VirusPetya* кількість невизначених подій складає 599514. Крім того зафіксована аномальна поведінка КС, породжена програмою 7Zip. Ідентифікуючі параметри мають високі значення, а саме значення помилок класифікації *RAE* і *RRSE*, які описують відносну помилку розпізнавання навчальної і тестової вибірки. *RAE* та *RRSE* можуть мати значення більше за нуль при повному визначенні подій у виборці. Це пояснюється тим, що вони описують відносне значення простого предиктору, нормалізуючи його шляхом ділення на загальну квадратну помилку простого предиктору. Взявши квадратний корінь з відносної квадратної помилки, можна зменшити помилку до тих розмірів, що і передбачувана величина. Цей результат характеризує точність класифікатора.

Таблиця 3 – Результати тестування КС на основі беггінгу

Назва процесу	Learning time, c	Testing Time, c	Total Instances	Unknown Instances	Correctly	Correctly Classified Instances, %	Incorrectly	Incorrectly Classified Instances, %	RAE	RRSE
SystemProcesses	0.1	0.05	1476	179	1297	99.845	2	0.154	4.062	7.909
ZipFile7Zip	-	8.54	87702	13834	73868	100	0	0	14.616	22.102
ZipFileSystemZipper	-	11.73	83788	6096	77545	99.810	147	0.189	2.285	9.127
OpenFoldersAndFiles	-	32.85	242901	11065	231354	99.792	482	0.207	0.777	5.912
ExtractFilesSystemZipper	-	30.39	275014	73	274941	100	0	0	0.144	2.238
ExtractFiles7Zip	-	4.1	45654	16346	29308	100	0	0	3.256	12.004
EditingTxtFile	-	9.41	85464	18469	66978	99.974	17	0.025	1.498	7.919
DeleteToRecycleBin	-	2.21	55894	79	55815	100	0	0	0.061	1.608
DeleteFilesPerm	-	0.69	36969	28	36941	100	0	0	0.024	1.028
CopyFiles71	-	3.16	89807	3092	86714	99.998	1	0.001	0.743	5.329
CopyFiles	-	0.56	25731	172	25559	100	0	0	0.111	2.295
VirusPetya	-	469.32	599514	203843	395097	99.854	574	0.145	4.538	12.546

Таким чином, ансамблеві класифікатори для яких у якості навчальної вибірки використано лише статистику *SystemProcesses\_0*, зібрану в режимі очікування при нормальному стані функціонування КС потребують донавчання з використанням більшої кількості процесів навчальної вибірки.

Такі класифікатори можуть бути використані тільки як експрес-класифікатори. Ознакою аномальності функціонування таких класифікаторів є збільшення кількості нерозпізнаних подій.

Для подальшого дослідження використано класифікатор на основі беггінгу.

Донавчання класифікатора на основі беггінгу було виконано з використанням усіх процесів, наведених в табл. 1, окрім процесу *VirusPetya*.

Вибірка для тренування містила 871497 подій, котрі об'єднують усі події для нормального режиму роботи.

Результати ідентифікації КС на основі отриманого класифікатора наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Результати тестування КС на основі беггінгу

Назва процесу	Learning time, c	Testing Time, c	Total Instances	Unknown Instances	Correctly	Correctly Classified Instances, %	Incorrectly	Incorrectly Classified Instances, %	RAE	RRSE
SystemProcesses	92,64	0,11	1476	0	1476	100	0	0	0,0073	0,2749
ZipFile7Zip	91,56	8,57	87702	0	87702	100	0	0	0,0295	0,4563
ZipFileSystemZipper	89,12	5,34	83788	0	83788	100	0	0	0,0057	0,3478
OpenFoldersAndFiles	92,86	9,29	242901	0	242901	100	0	0	0,0031	0,2901
ExtractFilesSystemZipper	90,43	12,84	275014	0	275014	100	0	0	0,0095	0,3215
ExtractFiles7Zip	88,39	6,56	45654	0	45654	100	0	0	0,0198	0,8174
EditingTxtFile	93	3,97	85464	0	85464	100	0	0	0,0043	0,1325
DeleteToRecycleBin	89,15	3,74	55894	0	55894	100	0	0	0,0074	0,7319
DeleteFilesPerm	91,98	4,83	36969	0	36969	100	0	0	0,0069	0,1345
CopyFiles71	92,77	4,38	89807	0	89807	100	0	0	0,0074	0,4357
CopyFiles	90	1,71	25731	0	25731	100	0	0	0,0056	0,3509
VirusPetya	-	876,44	599514	131997	431246	92,2418	36271	7,7582	12,4715	40,7097

Класифікатор побудовано на основі назви процесу. Як видно із табл. 4, усі події що приймали участь у навчанні були розпізнані як коректні. Якщо проаналізувати процес, породжений *VirusPetya*, то 131997 подій не ідентифіковано (що є ознакою аномальності). Із 467517 ідентифікованих подій *Virus Petya* 7,76% подій мають інші атрибути, що дозволяє їх охарактеризувати як аномальні. Наявність таких подій призводить до збільшення помилок класифікації *RAE* та *RRSE*. Процес ідентифікації стану КС та виявлення шкідливого програмного забезпечення та прикладі *VirusPetya* тривав близько 8 хвилин.

### Висновки

В даній роботі досліджено події функціонування операційних системах сімейства Windows та виділено чотири їх основні типи: події міжпроцесної комунікації, події взаємодії з файловою системою, події інтер-

нет-з'єднання, події взаємодії з реєстром операційної системи. Проаналізовано та виділено атрибути подій, що надає можливість ідентифікувати ініціатора події (конкретний виконуваний файл та процес). Розроблено програмне забезпечення для виділення подій, що дозволило сформувати вихідні дані для оцінки стану комп'ютерної системи. Розглянуто ансамблеві класифікаторів на основі беггінгу, бустінгу та дерева рішень J48 для ідентифікації стану комп'ютерної системи. У якості інструменту для аналізу стану КС та оцінки ансамблевих класифікаторів було обрано ПЗ Weka. Виконано оцінку ефективності розроблених ансамблевих класифікаторів. За результатами досліджень для ідентифікації стану комп'ютерної системи запропоновано ансамблевий метод класифікації на основі беггінгу та дерева рішень J48, що надає можливість підвищити точність ідентифікації стану комп'ютерної системи.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Алпайдин Э. Машинное обучение: новый искусственный интеллект / Э. Алпайдин – М.: Изд.гр. Точка, 2017. – 208 с.
2. Вьюгин В.В. Математические основы машинного обучения и прогнозирования. / В.В. Вьюгин // – Москва: МЦНМО, 2013. – 304 с.
3. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / П. Флах // – Москва: ДМКПресс, 2015. – 400 с.
4. Марманис Х. Алгоритмы интеллектуального интернета. Передовые методики сбора, анализа и обработки данных. / Х.Марманис, Д.Бабенко. – Сб-П, М: Символ, 2011. – 468 с.
5. Саттон Ричард С., Барто Эндрю Г. Обучение с подкреплением = Reinforcement Learning. – 2-е издание. – М.: ДМК пресс, 2020. – 552 с.
6. Кафтанников И. Л., Парасич А. В. Особенности применения деревьев решений в задачах классификации // Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2015, Т. 15. № 3. с. 26–32.
7. Cha Zhang. Ensemble Machine Learning. Methods and Applications / Cha Zhang, Yunqian Ma. — New York Dordrecht Heidelberg London: Springer, 2012. – 329 p.
8. Тархов Д. А. Нейросетевые модели и алгоритмы / Д. А. Тархов. – Москва: Радиотехника, 2014. – 352 с.
9. Vipin Kumar. The Top Ten Algorithms in Data Mining– Taylor & Francis Group, LLC, 2009. – 2006 p.
10. Joseph Rocca, Baptiste Rocca. “Ensemble methods: bagging, boosting and stacking”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://towardsdatascience.com/ensemble-methods-bagging-boosting-and-stacking-e9214a10a205>.
11. Kristína Machová, Miroslav Pusztá, František Barčák, and Peter Bednár, “A Comparison of the Bagging and the Boosting Methods Using the Decision Trees Classifiers”, Computer Science and Information Systems, 3(2), 2006, pp.57-72, DOI: 10.2298/CSIS0602057M.
12. Гавриленко С.Ю. Розробка методу оцінки стану комп'ютера на базі аналізу системних подій / С.Ю. Гавриленко, І.В. Шeverдін //Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу – Івано-Франківськ, 2018, №1(40), сс.108-114
13. “WEKA. The workbench for machine learning”. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/>.

Received (Надійшла) 27.06.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.07.2020

### A computer system state identification based on the ensemble classification method

S. Gavrilenko, I. Sheverdin

**Annotation.** The subject of this article is the study of methods of identifying a computer system state. The purpose of the article is development of a method for identifying computer system abnormal state based on ensemble methods. **Objective:** investigate and distinguish events in Windows operating systems, develop software for collecting events; investigate the use of ensemble classifiers based on bagging, boosting and decision trees for identifying the state of a computer system. **The methods used are:** machine learning methods and ensemble classification methods. The following results were obtained: The following events classes in Windows operating systems were selected as source data: process communication events, file system interaction events, internet connection events, and registry interaction events. Identification methods of abnormal computer system state were studied based on ensemble methods such as bagging, boosting, and J48 decision tree for identifying the state of a computer system. The effectiveness of developed ensemble classifiers was evaluated. Based on the research results, the bagging ensemble classification method and the J48 decision tree is proposed for identifying the computer system state. **Conclusions.** The scientific novelty of the obtained results consists in selecting the computer system functioning processes and creating an ensemble method for identifying the computer system state based on bagging and the J48 decision tree, which makes it possible to increase the identification accuracy.

**Keywords:** computer system, operating system events, machine learning, MS Windows abnormal state, decision trees, ensemble classification methods, boosting, bagging.

Д. С. Гребенюк, В. В. Давидов

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

## МЕТОД ПЕРВИННОГО ВИДІЛЕННЯ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

**Анотація.** Предметом дослідження в статті є моделі та методи розмежування навантаження і ресурсів в системах хмарних обчислень, зокрема, які базуються на моделі надання послуг інфраструктури як сервісу. Метою роботи є оптимізація первинного виділення ресурсів в системах хмарних обчислень шляхом адаптації методу аналізу ієрархій для впровадження в хмарні обчислення. Це дозволить запускати нові віртуальні машини з мінімальним зниженням продуктивності вже функціонуючих екземплярів. У статті вирішуються наступні завдання: дослідження доцільності використання моделі аналізу ієрархій в хмарних обчисленнях; адаптація методу аналізу ієрархій для впровадження в системи хмарних обчислень; оцінка ефективності впровадженого методу. Для вирішення поставлених завдань були використані підходи і методи теоретичних досліджень, які засновані на наукових положеннях статичного, функціонального і системного аналізів. Отримані наступні результати: запропоновано використання методу аналізу ієрархій для розподілу ресурсів у системах хмарних обчислень. Наведено переваги та недоліки цього методу для використання у хмарних обчисленнях. Метод аналізу ієрархій був адаптовано для систем хмарних обчислень. Наведено алгоритм його використання. Проведена оцінка ефективності розробленого метода, який показав доцільність його використання при розподілу ресурсів у системах хмарних обчислень. **Висновки.** Вдосконалення методу первинного розмежування ресурсів в системах хмарних обчислень дозволило підвищити здатність цих систем запускати нові віртуальні машини з мінімальним зниженням продуктивності вже функціонуючих екземплярів.

**Ключові слова:** системи хмарних обчислень, аналіз ієрархій, виділення.

### Постановка проблеми

Розвиток сучасних інформаційних технологій потребує розвитку систем хмарних обчислень. Серед інтенсивного та екстенсивного напрямків розвитку було обрано екстенсивний, як напрям, що дозволяє масштабувати інформаційні ресурси, не упираючись в поточні обмеження комп'ютерних ресурсів (наприклад, ЦПУ, мережна пропускання здатність тощо), що можуть бути розташовані на одному хості. Екстенсивний напрям розвитку призвів до утворення віддалених кластерів, де зазначені ресурси загальні для всіх хостів. Обчислення на таких віддалених кластерах отримали назву «хмарні обчислення». Хмарні обчислення надають такі послуги [1]:

- Software-as-a-Service (SaaS) – програмне забезпечення, серверна частина якого знаходиться в системах хмарних обчислень;
- Platform-as-a-Service (PaaS) – віртуальний хост зі своєю ОС, на яку можна встановити декілька програмних забезпечень типу SaaS;
- Infrastructure-as-a-Service (IaaS) – віртуальний кластер, що включає до себе декілька віртуальних хостів та конфігурацію мережі між ними.

У ході життєвого циклу роботи системи типу IaaS настає проблема, коли частина кластеру має високий рівень навантаження використання ресурсів, а інша – простоє. Це призводить до необхідності балансування ресурсів для оптимальної витрати існуючих ресурсів у системах хмарних обчислень для підвищення ефективності їх використання.

**Аналіз літератури.** Існуючі в хмарних середовищах підходи до первинного виділення ресурсів можна розділити на три типи: виділення ресурсів адміністратором; планування ресурсів диспетчером хмари; планування ресурсів середовищем віртуалізації.

Специфіка розподілу ресурсів в хмарі IaaS бере свій початок в основних ідеях, які закладені в цій

моделі хмарного сервісу. Зокрема можна виділити такі: відсутність у адміністратора інформації про реальні потреби застосунків, які перебувають всередині віртуальних машин та можливості ручного призначення ресурсів екземплярів.

Таким чином, системи хмарних обчислень мають особливості, які створюють специфіку розподілу ресурсів в хмарі. Деякі елементи цієї проблематики є спільними з проблемами систем віртуалізації, а деякі - мають особливості, характерні для хмари. На процес розподілу ресурсів в хмарі впливають [2]: різні класи обладнання і поєднання ресурсів; нерівномірна завантаженість кожного з ресурсів; відсутність відомостей про реальні потреби застосунків у ресурсах; різні потреби застосунків у ресурсах; невідповідність запитаних ресурсів із реально споживаними; відсутність можливості ручного призначення ресурсів.

Таким чином, хмарні середовища мають ряд особливостей, не характерних для інших моделей надання ресурсів, що викликає необхідність удосконалення механізмів розподілу ресурсів для зазначених середовищ.

Аналіз літератури [2, 3] дозволив виявити особливості методу розподіленого виділення ресурсів (DRS). Метод DRS вирішує задачу розподілення робочих навантажень віртуальної машини по вузлах всередині кластера віртуалізації, а також відстежує доступні ресурси. Аналіз показав, що цей метод оцінює лише навантаження центрального процесора і не прогнозує зміну навантаження за іншими параметрами (наприклад, кількість операцій введення-виведення та завантаженість мережі). Саме тому метод DRS є достатньо примітивним і не підходить для застосування у системах хмарних обчислень, де адміністратор системи хмарних обчислень не має можливості передбачити всі небажані наслідки від перерозподілу ресурсів у такий спосіб.

Аналіз літератури [2, 3] дозволив виявити особливості методу динамічного розподілу ресурсів (DPM). Метод DPM оптимізує енергоспоживання на рівні кластера або вузла. Дослідження даного методу показало, що він вирішує задачу зниження енергоспоживання в середовищі віртуалізації, однак не вирішує задачу максимізації ефективного використання наявних ресурсів.

Проведений аналіз існуючих методів розподілу ресурсів у системах хмарних обчислень показав, що поточні методи розподілу ресурсів не задовольняють реальним потребам власників і споживачів хмарної послуги IaaS і не дозволяють оптимально використовувати наявні ресурси для віртуальних машин.

**Метою роботи** є підвищення ефективності використання обчислювальних ресурсів у системах хмарних обчислень на основі моделі IaaS шляхом розроблення алгоритму первинного виділення хмарних обчислювальних ресурсів. Дослідження поставленої задачі показало, що вона відноситься до класу багатокритеріальних задач прийняття рішень і може бути вирішена з використанням математичного апарату методу аналізу ієрархій [4].

### Результати досліджень

**Дослідження доцільності використання методу аналізу ієрархій.** Метод аналізу ієрархій – методологічна основа для вирішення завдань вибору альтернатив за допомогою їх багатокритеріального рейтингування, що розроблена Т. Сааті. Основне застосування методу – підтримка прийняття рішень за допомогою ієрархічної композиції завдання і рейтингування альтернативних рішень. Основні можливості зазначеного методу [5]:

1. Проведення аналізу проблеми. При цьому проблема прийняття рішення представляється у вигляді ієрархічно впорядкованих: а) головної мети (головного критерію) рейтингування можливих рішень; б) декількох груп (рівнів) однотипних факторів, які так чи інакше впливають на рейтинг; в) групи можливих рішень; г) системи зв'язків, що вказують на взаємний вплив чинників і рішень.

2. Проведення збору даних про проблему. Відповідно до результатів ієрархічної декомпозиції модель ситуації прийняття рішення має кластерну структуру. Набір можливих рішень і всі фактори, що впливають на пріоритети рішень, розбиваються на відносно невеликі групи – кластери. Розроблена в методі аналізу ієрархій процедура парних порівнянь [6, 7] дозволяє визначити пріоритети об'єктів, що входять до кожного кластера. Для цього використовується метод власного вектору. При цьому, складна проблема збору даних розбивається на ряд більш простих, вирішальних для кластерів.

3. Оцінка суперечливості даних і мінімізація її. Для реалізації даної можливості, в методі аналізу ієрархій розроблені процедури узгодження. Зокрема, є можливість визначити найбільш суперечливі дані, що дозволяє виявити найменш ясні ділянки проблеми.

4. Синтез проблеми прийняття рішення. Після того, як проведено аналіз проблеми та зібрано дані

по всім кластерам, за спеціальним алгоритмом розраховується підсумковий рейтинг – набір пріоритетів альтернативних рішень. Властивості цього рейтингу дозволяють здійснювати підтримку прийняття рішень. Наприклад, приймається рішення з найбільшим пріоритетом. Крім того, метод дозволяє побудувати рейтинги для груп факторів, що дозволяє оцінювати важливість кожного фактора.

5. Обговорення проблеми, що сприяє досягненню консенсуса. Думки, що виникають під час обговорення проблеми прийняття рішення, самі можуть в даній ситуації розглядатися в якості можливих рішень. Тому метод аналізу ієрархій можна застосувати для визначення важливості врахування думки кожного учасника обговорення.

6. Оцінка важливості врахування кожного рішення і важливості врахування кожного чинника, що впливають на пріоритети рішень. У відповідності з формулюванням завдання прийняття рішення, величина пріоритету безпосередньо пов'язана з оптимальністю рішення. Тому рішення з низькими пріоритетами відкидаються як несуттєві.

7. Оцінка стійкості прийнятого рішення. Прийняте рішення можна вважати обґрунтованим лише за умови, що неточність даних або неточність структури моделі ситуації прийняття рішення не впливають істотно на рейтинг альтернативних рішень.

*До переваг* зазначеного методу при вирішенні завдання первинного виділення ресурсів в системах хмарних обчислень у порівнянні з іншими методами багатокритеріального аналізу слід віднести [5]:

- відсутність загальних правил для формування структури моделі прийняття рішення, що дозволяє враховувати «людський фактор» при підготовці прийняття рішення. Таким чином, вдається наблизити роботу підсистеми розподілу ресурсів до дій системного адміністратора, який здатний враховувати неявні взаємозв'язки між різними параметрами функціонування системи хмарних обчислень;
- простота процедури розрахунків рейтингів, що дозволяє зробити процес вибору рішення максимально прозорим при налаштуванні підсистеми розподілу ресурсів;

- метод надає можливість враховувати думку не одного, а декількох експертів, що дозволяє отримати більш об'єктивну оцінку значимості показників;

- метод надає багато можливостей для виявлення і мінімізації протиріч у вихідних даних, що дозволяє ефективно оперувати великим числом показників в процесі прийняття рішення.

- метод дає не лише спосіб виявлення найкращого рішення, але і дозволяє кількісно виразити ступінь переваги за допомогою рейтингування, відображаючи природний хід людського мислення і даючи більше загальний підхід, ніж метод логічних ланцюгів. Це дозволяє більш повно задіяти отримані результати при їх подальшому використанні.

Метод аналізу ієрархій, проте, має і низку *недоліків*, які не є суттєвими при вирішенні задачі:

- в рамках методу аналізу ієрархій немає можливостей для перевірки достовірності даних. Це

важливий недолік, що частково обмежує можливість застосування методу. Однак при виборі оптимального хоста для розміщення екземпляра в хмарній системі в принципі не може бути об'єктивних даних з урахуванням її поганої спроможності до формалізації неявних залежностей. Якщо збір даних проведено за допомогою досвідчених експертів, і в даних немає істотних протиріч, то якість таких даних визнається задовільною;

– метод дає лише спосіб рейтингування альтернатив, але не має внутрішніх засобів для інтерпретації рейтингів, тобто вважається, що особа, яка приймає рішення, знаючи рейтинг можливих рішень, повинна в залежності від ситуації сама зробити висновок. Проте, одержуваних даних досить для прийняття рішення в рамках підсистеми розподілу ресурсів.

Таким чином, обґрунтовано доцільність застосування методу аналізу ієрархій для вирішення задачі первинного виділення ресурсів в системах хмарних обчислень.

**Адаптація методу аналізу ієрархій для впровадження в системи хмарних обчислень.** Метод аналізу ієрархій Сааті успішно застосовується в різних областях науки та техніки для вирішення подібних завдань [8], однак, в силу особливостей розв'язуваної задачі, вимагається виконання кроків, які враховують специфіку систем хмарних обчислень.

**Крок 1.** Система хмарних обчислень попередньо підрозділяється адміністратором на зони, що складаються зі схожих за параметрами хостів і схожих даних.

**Крок 2.** З урахуванням заданих обмежень для віртуальної машини (на число процесорів, обсяг пам'яті, ресурси зберігання та ін.) вибирається зона, що найбільш йому відповідає. Використання зон дозволяє врахувати обмеження віртуальної машини, що запускається, за характеристиками, щоб обрати його розташування вже там, де ресурсів завідомо буде достатньо для функціонування програм, які виконуються на екземплярі.

**Крок 3.** Виконується оцінка показників якості [9] кожного хоста і сховища даних, якими описується функціонування хоста і його систем, включених в обрану зону. До таких показників якості необхідно віднести наступні:

- продуктивність ( $P$ ): число ЦП ( $N_{CPU}$ ), число ядер ЦП ( $N_{core}$ ), тактова частота ЦП ( $V_{CPU}$ ), швидкість роботи мережі ( $V_{net}$ );
- надійність ( $P$ ) [10]: середній час між збоями ( $M_{fail}$ );
- навантаженість ( $S$ ): зайняте місце в ОЗП ( $L_{mem}$ ), завантаження ЦП ( $L_{CPU}$ ), навантаження на дискову підсистему ( $L_{disk}$ ), відгук дискової підсистеми ( $T_{disk}$ ), завантаження мережі ( $L_{net}$ ), число екземплярів, що вже виконуються ( $N_{vm}$ ).

При цьому, сукупність окремих показників, що впливають на комплексний показник якості, може бути зведена в 2 групи: детерміновані (пов'язані зі зміною обладнання); стохастичні (пов'язані з навантаженням і часом роботи).

Частина зазначених показників, таких як фізичний стан обладнання, якість його збірки і рівень

компетенції обслуговуючого персоналу, не можуть бути кількісно визначені, а отже, є нечіткими і можуть бути представлені як лінгвістичні змінні [11].

**Крок 4.** Виконується вибір найбільш відповідного хоста на основі аналізу альтернатив на основі отриманих значень показників якості [12]. Кожен показник має свою попередньо задану вагу, що визначена певний експертним шляхом для кожної зони, виходячи з узагальнених потреб клієнтів і наявного обладнання. В результаті, для розміщення віртуальної машини обирається хост, що забезпечує максимальну ймовірність оптимального розподілу ресурсів.

**Дослідження методу аналізу ієрархії на прикладі декілька-гілкової ієрархії.** Для дослідження методу аналізу ієрархій, що адаптований до систем хмарних обчислень, розроблено алгоритм, що оперує ієрархією з декількома гілками (рис. 1) [13].

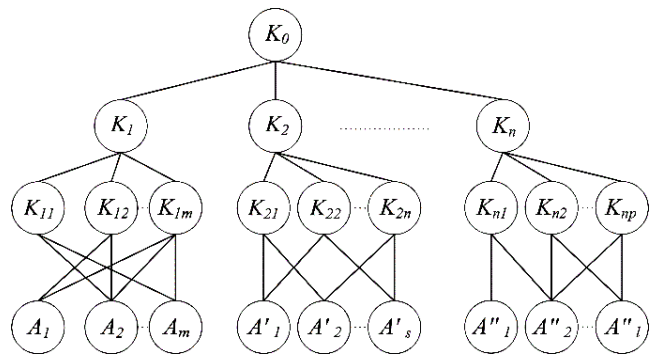


Рис. 1. Приклад ієрархії з декількома гілками

**Крок 1.** Обчислюються вектори пріоритетів альтернатив відносно критеріїв  $K_{ij}$ :

$$\left\{ W_{K_{11}}^A, W_{K_{12}}^A, \dots, W_{K_{1m}}^A \right\}; \left\{ W_{K_{21}}^{A'}, W_{K_{22}}^{A'}, \dots, W_{K_{2n}}^{A'} \right\}; \left\{ W_{K_{n1}}^{A''}, W_{K_{n2}}^{A''}, \dots, W_{K_{np}}^{A''} \right\}. \quad (1)$$

**Крок 2.** Будується  $r$  матриць  $[A_i]$ , в яких найменуваннями строк є альтернативи, а стовпців – критерії  $K_{ij}$ . При цьому, якщо альтернатива  $A_i$  не має зв'язку з критерієм  $K_{ij}$ , то в матриці  $[A_i]$  на перетині відповідних строки та стовпця ставиться значення 0.

**Крок 3.** Обчислюється  $r$  векторів пріоритетів альтернатив  $W_i^A (i=1, r)$  відносно критеріїв  $K_i$ :

$$W_i^A = [A_i][S_i][L_i]\bar{X}_i[B_i], \quad (2)$$

де  $[S_i]$  – матриця для нормування матриці  $[A_i]$ ;  $[L_i]$  – структурна матриця для зміни ваги альтернатив пропорційно до відношення  $R/N$  ( $R$  – кількість альтернатив, що знаходяться під критерієм  $K_{ij}$ ,  $N$  – загальна кількість альтернатив);  $[B_i]$  – діагональна матриця для отримання вектору  $W_i^A$ ;  $\bar{X}_i$  – вектор пріоритетів критеріїв  $K_{ij}$  відносно до критеріїв  $K_i$ .

**Крок 4.** Обчислюється вектор пріоритетів критеріїв  $X$  відносно фокуса ієрархії  $K_0$ .

**Крок 5.** Будується результуюча матриця  $[A_0]$ , де найменуваннями строк є усі альтернативи, що роз-



глядаються ( $\{A_i\}, i=1..m; \{A'_i\}, i=1..s; \{A''_i\}, i=1..t;$ ), а найменуваннями стовпців – критерії  $K_i$ . При цьому результуюча матриця  $[A_0]$  має такий вигляд:

$$[A_0] = \begin{bmatrix} W_1^A & 0 & \dots & 0 \\ 0 & W_2^A & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & W_r^A \end{bmatrix}. \quad (3)$$

**Крок 6.** Визначається результуючий вектор пріоритетів  $W_0^A$  усіх альтернатив, що розглядаються, відносно фокуса ієрархії  $K_0$  стосовно виразу (2).

Для встановлення відносної важливості елементів ієрархії використовується шкала відносин (табл. 1). Дана шкала дозволяє експерту ставити ступінь значущості у відповідність до ступенів

переваги одного порівнюваного об'єкта перед іншим. Після побудови ієрархії застосовується метод попарного порівняння, тобто будується множина матриць парних порівнянь. Для цього в ієрархії виділяються елементи двох типів: елементи-батьки і елементи-нащадки. Елементи-нащадки впливають на відповідні елементи вищого рівня ієрархії, що є по відношенню до перших елементами-батьками. Матриці парних порівнянь будуються для всіх елементів-нащадків, що відносяться до відповідного елемента-батька. Елементами-батьками можуть бути елементи, що належать будь-якому ієрархічному рівню, крім останнього, на якому розташовані, як правило, альтернативи.

Парні порівняння проводяться в термінах домінування одного елемента над іншим. Отримані судження виражаються в цілих числах з урахуванням дев'ятибальної шкали (табл. 1).

Таблиця 1 – Шкала відносин (за ступенем значущості параметрів функціонування системи хмарних обчислень)

Ступінь значущості	Визначення	Пояснення
1	Однакова значимість.	Два параметра вносять однаковий внесок у досягнення мети.
3	Деяке переважання значущості однієї дії над іншою (слабка значимість).	Існують міркування на користь переваги одного з параметрів, однак ці міркування недостатньо переконливі.
5	Істотна або сильна значимість.	Є надійні дані або логічні судження для того, щоб показати перевагу одного з параметрів.
7	Очевидна або дуже сильна значимість.	Переконливе свідчення на користь одного параметра перед іншим.
9	Абсолютна значимість.	Свідчення на користь переваги одного параметра над іншим надзвичайно переконливі.
2,4,6,8	Проміжні значення між двома сусідніми судженнями.	Ситуація, коли необхідно компромісне рішення.
Зворотні величини	Якщо параметру $i$ при порівнянні з параметром $j$ приписується одне з визначених вище ненульових чисел, то параметру $j$ при порівнянні з параметром $i$ приписується зворотне значення.	Якщо узгодженість було постульовано при отриманні $N$ числових значень для утворення матриці.

Заповнення квадратних матриць парних порівнянь здійснюється за наступним правилом. Якщо елемент  $E_1$  домінує над елементом  $E_2$ , то клітина матриці, відповідна рядку  $E_1$  і стовпчику  $E_2$ , заповнюється цілим числом, а клітина, відповідна рядку  $E_2$  і стовпчику  $E_1$ , заповнюється зворотним до нього числом. Якщо елемент  $E_2$  домінує над  $E_1$ , то ціле число ставиться в клітину, відповідну рядку  $E_2$  і стовпчику  $E_1$ , а дріб проставляється в клітину, відповідну рядку  $E_1$  і стовпчику  $E_2$ . Якщо елементи  $E_1$  і  $E_2$  рівнозначні, то в обидві позиції матриці ставляться одиниці.

Для отримання кожної матриці експерт виносить  $n(n-1)/2$  суджень (тут  $n$  – порядок матриці парних порівнянь).

Нехай  $E_1, E_2, \dots, E_n$  – множина з  $n$  елементів (альтернатив) і  $v_1, v_2, \dots, v_n$  – відповідно їх ваги, або інтенсивності. Порівняємо попарно ваги, або інтенсивність, кожного елемента з вагою, або інтенсивністю, будь-якого іншого елемента множини по відношенню до загальної для них властивості або цілі (по відношенню до елемента-батька). В цьому випадку матриця парних порівнянь  $[E]$  має такий вигляд:

$$[E] = \begin{bmatrix} & E_1 & E_2 & \dots & E_n \\ E_1 & v_1/v_1 & v_1/v_2 & \dots & v_1/v_n \\ E_2 & v_2/v_1 & v_2/v_2 & \dots & v_2/v_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ E_n & v_n/v_1 & v_n/v_2 & \dots & v_n/v_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

Матриця парних порівнянь має властивість зворотної симетрії, тобто:

$$a_{ij} = 1/a_{ji}, \quad a_{ij} = v_i/v_j. \quad (5)$$

Ранжування елементів, які аналізуються з використанням матриць парних порівнянь  $[E]$ , здійснюється на підставі головних власних векторів, що отримуються в результаті обробки матриць. Обчислення головного власного вектора  $W$  позитивної квадратної матриці  $[E]$  проводиться на підставі рівності:

$$EW = \lambda_{\max} W, \quad (6)$$

де  $\lambda_{\max}$  – максимальне власне значення матриці  $[E]$ .

Для позитивної квадратної матриці  $[E]$  правильний власний вектор  $W$ , який відповідає максимальному

власному значенню  $\lambda_{\max}$ , з точністю до постійного співмножника  $C$  можна обчислити за формулою:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} [E]^k e / (e^T [E]^k e) = CW, \quad (7)$$

де  $e = \{1, 1, 1, \dots, 1\}^T$  – одиничний вектор;  $k$  – показник ступеня;  $C$  – константа;  $T$  – знак транспонування.

Обчислення власного вектора  $W$  за виразом (2) виконується до досягнення заданої точності:

$$e^T |W^{(l)} - W^{(l+1)}| \leq \xi, \quad (8)$$

де  $l$  – номер ітерації, такий, що  $l = 1$  відповідає  $k = 1$ ;  $l = 2, k = 2$ ;  $l = 3, k = 3$  і т. д.;  $\xi$  – допустима похибка.

З достатньою для практики точністю можна прийняти  $\xi = 0,01$  незалежно від порядку матриці.

Максимальне власне значення обчислюється як

$$\lambda_{\max} = e^T [E]W. \quad (9)$$

Таким чином, здійснюється побудова ієрархії, яка використовується в подальшому для вибору найкращого сервера для розміщення конкретного екземпляру [13-16]. Як приклад розглянемо первинне виділення ресурсів для нового екземпляра в системі хмарних обчислень, що складається з 5 серверів з 30 запущеними екземплярами. На момент запуску екземпляра параметри функціонування обчислювальної системи описуються значеннями, зазначеними в табл. 2.

Таблиця 2 – Параметри функціонування системи хмарних обчислень

Параметр	Сервер 1	Сервер 2	Сервер 3	Сервер 4	Сервер 5
<b>Продуктивність</b>					
$N_{CPU}$	2	1	2	1	1
$N_{core}$	12	4	10	2	6
$V_{CPU}$	2.2	3	3.2	2	2.5
$V_{mem}$	128	16	256	8	32
$V_{net}$	1000	100	10000	1000	1000
<b>Надійність</b>					
$M_{fail}$	1000	1000	500	1000	1000
Фізичний стан обладнання	1	1	0.95	1	0.8
Якість збірки обладнання	0.87	0.96	0.92	0.99	0.78
Рівень компетенції персоналу	1	1	0.8	1	1
<b>Завантаженість</b>					
$L_{mem}$	40	2	120	4	19
$L_{CPU}$	0.1	0.4	0.6	0.02	0.2
$L_{disk}$	0.01	0.05	0.6	0.05	0.35
$T_{disk}$	10	8	102	12	65
$L_{net}$	0.01	0.02	0.52	0.05	0.03
$N_{vm}$	12	4	10	2	2

Виходячи з параметрів продуктивності, попередньо виконано підрозділення обчислювальної системи на зони - в даному випадку зони високої продуктивності (сервери 1 і 3) і зони низької продуктивності (сервери 2, 4 і 5). Приклад параметрів віртуальної машини, що запускається:

$$N_{CPU} = 2; N_{core} = 4; V_{mem} = 16 \text{ Гб}; V_{disk} = 20 \text{ Гб};$$

Виходячи зі значень показників запускається екземпляр, здійснюється вибір зони. Очевидно, що для цього екземпляра обрано зону високої продуктивності. Для аналізу альтернатив використовується отримана раніше на підставі експертних оцінок матриця парних порівнянь  $[E]$ , що містить вагові коефіцієнти значущості параметрів, актуальні для даної системи хмарних обчислень. В результаті оцінки альтернатив здійснюється вибір сервера для розміщення екземпляра.

**Оцінка ефективності** первинного виділення ресурсів проводилася шляхом вимірювання показника нерівномірності використання ресурсів сервера  $p$ . На цьому сервері було проведено запуск екземпляра при використанні різних методів. Критерієм порівняння було обрано параметр нерівномірності  $N_R$  завантаження ресурсів  $r$  сервера  $p$ :

$$N_R = \sqrt{\sum_{i=1}^n ((r_i - \bar{r}_i) / \bar{r}_i)^2}, \quad (10)$$

де  $r_i$  – навантаження на поточний ресурс сервера  $p$ ;  $\bar{r}_i$  – середня поточна завантаженість усіх ресурсів сервера  $p$ .

У ході оцінки ефективності, для кожного методу було проведено 100 пробних запусків віртуальної машини з довільними характеристиками у працюючій системі хмарних обчислень без змінення будь-яких параметрів навантаження. Результати оцінки (значення параметру  $N_R$ ):

- алгоритм першочергового виділення ресурсів: 0.48;
- простий алгоритм: 0.43;
- випадковий алгоритм: 0.44;
- алгоритм DRS: 0.26;
- алгоритм, що розроблено у статті: 0.14.

Як видно з наведених даних:

– алгоритм DRS показав значно кращий результат за рахунок врахування такого параметра, як завантаження центрального процесора.

– розроблений алгоритм на основі методу аналізу ієрархій показав найкращий результат зменшення нерівномірності ресурсів хосту, оскільки враховує весь набір показників функціонування хосту стосовно характеристик екземпляра, що запускається.

Таким чином, розроблений алгоритм виділення ресурсів продемонстрував свою ефективність при

первинному запуску екземпляра у функціонуючій системі хмарних обчислень.

### Висновки

У рамках дослідження проведено аналіз існуючих методів розподілу ресурсів в системах хмарних обчислень. Зокрема, алгоритми першочергового розподілу ресурсів. Були виявлені їх особливості та недоліки. Доведено необхідність використання інших підходів до розподілу ресурсів систем хмарних обчислень. Так, було запропоновано використання методу аналізу ієрархії для розподілу ресурсів у

системах хмарних обчислень. Наведено переваги та недоліки цього методу для використання у хмарних обчисленнях. Метод аналізу ієрархій було адаптовано для систем хмарних обчислень. Наведено алгоритм його використання. Проведена оцінка ефективності розробленого методу, який показав доцільність його використання при розподілі ресурсів у системах хмарних обчислень.

Завданням для подальшого розвитку є більш детальний аналіз наведених недоліків обраного методу та мінімізація ризиків їх впливу на показник нерівномірності розподілу ресурсів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Sala-Zárate María, Colombo-Mendoza Luis (2012). Cloud computing: a review of PaaS, IaaS, SaaS services and providers. *Lámpsakos*, No. 7, pp. 47-57. DOI: <https://doi.org/10.21501/21454086.844>.
2. Гребенюк Д.С. (2018). Аналіз методів розподілення ресурсів у середовищах віртуалізації. *Системи управління, навігації та зв'язку*, № 6 (52), с. 98-103. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.6.098>.
3. Gulati A., Holler A., Ji M., Shanmuganathan G., Waldspurger C., Zhu X. (2012). VMware distributed resource management: Design, implementation and lessons learned. *VMware Technical Journal*, No. 1, pp. 45-64.
4. Микрюков А.А., Князев А.А. (2009). Об одном методе решения задачи многокритериального выбора. Сборник трудов II международной научно-практической конференции «Информационные технологии в образовании, науке и производстве», Серпухов, с. 241-243.
5. Технологии принятия решений: метод анализа иерархий [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://citforum.ru/consulting/BI/resolution>
6. Саати Т.Л. (2015). Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений, *Cloud Of Science*, Том 2, № 1, с. 5-39.
7. Саати Т.Л. (2016). Относительное измерение и его обобщение в принятии решений. Почему парные сравнения являются ключевыми в математике для измерения неосязаемых факторов, *Cloud Of Science*, Том 3, № 2, с. 171-262.
8. Ногин В.Д. (2004). Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев. *Журнал вычислительной математики и математической физики*, Том 44, № 7, с. 1261-1270.
9. Анохин А.М. (1997). Методы определения коэффициентов важности критериев. *Автоматика и телемеханика*, № 8, с. 3-35.
10. Bauer E., Adams R. (2012). *Reliability and Availability of Cloud Computing*. Wiley-IEEE Press, 352 p.
11. Беркетов Г.А., Микрюков А.А. (2008). Сравнительный анализ сложных систем с использованием нечетких критериев. *Информационные технологии в проектировании и производстве*, № 1, с. 80-83.
12. Михалевич М.В. (1994). Замечания к дискуссии Дж. Дайера и Т. Саати. *Кибернетика и системный анализ*, № 1, с. 97-102.
13. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60-66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
14. Nechausov A., Mamusu I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21-26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
15. Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / С.Ю. Гавриленко. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, № 2. С. 116-121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
16. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. (2000). Анализ, синтез, планирование решений в экономике. Финансы и Статистика, Москва, 151 с.

Received (Надійшла) 15.06.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.08.2020

### Initial cloud computing resource allocation method based on hierarchy analysis

D. Hrebeniuk, V. Davydov

**Abstract.** The subject of the study in the article are models and methods of load and resources reallocation in cloud computing systems, in particular, which are based on the infrastructure as a service model. **The goal of the work** is to optimize initial resource allocation in cloud computing systems by adapting the hierarchy analysis method for implementation in cloud computing. This will allow new virtual machines to be launched with minimal performance degradation for already running applications. The following **tasks** were solved in the article: the hierarchy analysis model in cloud computing using feasibility research; adapting hierarchy analysis method to cloud computing; implemented method effectiveness evaluation. To solve set tasks, theoretical research approaches and **methods** were used, which are based on the scientific positions of static, functional and systemic analyses. The following **results** were obtained – the hierarchy analysis method using to allocate resources in cloud computing systems is proposed. The advantages and disadvantages of this method for use in cloud computing are presented. The hierarchy analysis method has been adapted for cloud computing systems. The algorithm of its use is given. The developed method effectiveness estimation was carried out, which showed the feasibility of using it in cloud computing systems resource allocation. **Conclusions.** The improvement in the method of initial cloud computing resource allocation has increased the ability of these systems to start new virtual machines with a minimum decrease in the performance of already running applications.

**Keywords:** cloud computing systems, hierarchy analysis, allocation.

Н. В. Ічанська, С. С. Сіровий

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

## ЗАСТОСУВАННЯ ОСВІТНІХ ІНТЕРНЕТ-РЕСУРСІВ У НАВЧАЛЬНІЙ РОБОТІ З ІНОЗЕМНИМИ СТУДЕНТАМИ

**Анотація.** Предметом дослідження є методи та форми навчання, що використовують освітні інтернет ресурси. У статті описано та проаналізовано основні функції та переваги використання існуючих освітніх веб-ресурсів та мультимедійних довідників. Наведений авторами аналіз та методичні рекомендації є особливо корисними для студентів, що отримують IT-освіту. У роботі показано зручність та ефективність використання інтернет ресурсів для навчання іноземних студентів, враховуючи особливості навчання та моменти адаптації. Авторами досліджено актуальну проблему відповідності освітнього середовища темпу розвитку сучасного світу й викликам часу та методи підвищення якості освітнього процесу в питанні підготовки іноземних студентів. **Результати** – авторами сформовано перелік ефективних навчальних модулів, описано переваги, наведено рекомендації та аргументи щодо використання розглянутих веб-ресурсів. Для наочності автори використовують тести та методичні матеріали, що створені особисто. **Висновки** – у роботі розглянуто ефективні навчальні модулі, що є особливо адаптованими для навчання іноземних студентів, запропоновано використання мультимедійних довідників, які не тільки покращують якість освітнього процесу, а й спрощують процес адаптації.

**Ключові слова:** модулі для навчання, IDroo, Quizlet, Classtime, Quizzz, LearningApps, Google Forms, мультимедійні довідники.

### Вступ

За останні роки розвиток інформаційних технологій суттєво підкреслив актуальність проблеми модернізації системи освіти. Найбільш яскраво необхідність розв'язання цієї проблеми впливає на концепцію дистанційної освіти іноземних студентів. Саме якість освіти іноземних студентів суттєво впливає на рейтинги та позиції українських освітніх послуг на міжнародному ринку, адже оцінювання підготовки випускників відбувається в роботодавцями інших країн.

**Метою роботи** є якісний аналіз існуючих освітніх ресурсів та методів викладання технічних дисциплін іноземним студентам із застосуванням інформаційних технологій. У роботі наведено приклади та показано ефективність застосування освітніх інструментів на практиці, що покращує якість стаціонарної та дистанційної освіти.

**Аналіз проблеми та постановка задачі.** Основною ланкою системи дистанційного навчання є її продуктивність, яка на пряму залежить від сучасності засобів та інструментів на яких вона базується. Дистанційне навчання – індивідуалізований процес придбання знань, умінь, навичок і способів пізнавальної діяльності людини, який відбувається в основному при опосередкованій взаємодії віддалених один від одного учасників навчального процесу в спеціалізованому середовищі [1].

Проблематика та розвиток дистанційного освіти в навчанні іноземних студентів викликає активну дискусію у сучасній психолого-педагогічній науці. Це дослідження С. Палій, що розглядає проблему підготовки та соціальної адаптації іноземних студентів [2], та Л. Селіверстової, що описує проблеми укладання навчальних програм з української мови як іноземної [3] і багатьох інших [4, 5].

Процес навчання іноземців, на відміну від українських студентів, потребує додаткової уваги до вирішення загальних проблем організації та вносить певну специфіку в діяльність кожного вузу.

Міра цієї специфічності визначається організаційно-методичними та ресурсними особливостями, змістом навчання, необхідністю соціально-культурної та побутової підтримки. Іноземні студенти за своїм статусом і рівнем свого життя в українському університеті істотно відрізняються від українських студентів, так як мають інші особистісні та освітні потреби. Вони приїжджають в українські університети з освітньою базою і очікуваннями, зумовленими освітньо-виховними системами своїх країн. Це свідчить про значущість окресленої проблеми в системі міжнародної освіти.

Сфера міжнародної освіти вимагає від освітнього закладу задоволення індивідуальних запитів іноземних студентів, пропонуючи широкий спектр освітніх послуг, які враховують національні, етнічні, міжкультурні відмінності. Етап перед-університетської підготовки повинен не тільки навчити абітурієнта мови навчання, а й адаптувати іноземних студентів до нового середовища.

Для реалізації поставленої у роботі мети необхідно: провести якісного аналізу актуальних методів дистанційної освіти, обґрунтувати їх практичної ефективності в освіті іноземних студентів, впровадити методики створення мультимедійних довідників для вирішення проблеми адаптації іноземних студентів.

### Ефективні навчальні модулі та веб-ресурси

На сьогоднішній день існує велика кількість модулів для навчання. Авторами було проаналізовано низку існуючих тестів різноманітних веб-ресурсів на ефективність реальній роботі з іноземними студентами. Пропонуємо розглянути одні з кращих рішень, що показали позитивні результати: IDroo; Quizlet; Classtime; Quizzz; LearningApps; Google Forms.

Опишемо кожен із цих освітніх додатків.

**IDroo** – це навчальна віртуальна дошка для записів. Веб-ресурс повністю задовольняє всі необхідні потреби для проведення дистанційних лекцій та практикумів. Додаток надає змогу моделювати робо-

ту студента з викладачем біля дошки (рис. 1). Інтерфейс програми виконаний повністю на англійській мові, через що дозволить іноземному студенту створити зрозуміле середовище для навчання. Студентові не потрібно скачувати програму, всі процеси виконуються віртуально, а дані зберігаються на хмарному сховищі. Одна з головних переваг цього модулю – це можливість працювати з різними формулами та будувати фігури.

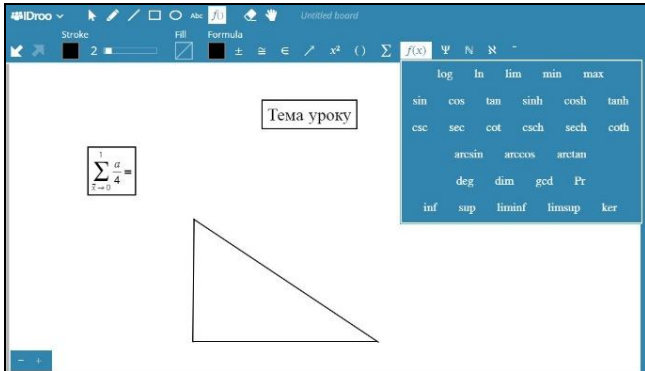


Рис. 1. Інтерфейс віртуальної дошки IDroo

Авторами було проведено експеримент на прикладі двох паралельних груп іноземних студентів на потоці. Суть якого полягала в тому, що для першої групи тема: «Системи лінійних алгебраїчних рівнянь» з розділу «Лінійна алгебра» подавалася засобами традиційного навчання, а для другої групи - із використанням засобів ІТ-технологій. Після вивчення теми було проведено контрольну роботу, результати якої показали, що засвоєність матеріалу, що подавався із застосуванням ІТ-технологій суттєво вищий в порівнянні з класичним викладанням. Зауважимо, що подібний експеримент проводився із українськими студентами, в якому відмінність також є, але не настільки висока та помітна.

Освітній процес для іноземних студентів залежний від багатьох факторів, і соціальних в тому числі. Це і ступінь засвоєння нової мови (іноземної), акцент, менталітет, швидкість адаптації в новому середовищі. Для осіб, що залежні від вище перерахованих факторів дистанційна освіта є ефективнішою в порівнянні з класичною.

Вищесказане довів аналіз результатів експерименту. За рахунок доступності навчальних матеріалів, зрозумілості інтерфейсу, високої функціональності та можливості наочності матеріалу використання елементів дистанційної освіти підвищило сумарний середній бал на 12%. Відмітимо, що додатковими наслідками є приріст інтересу до предмету та підвищення мотивації.

Зауважимо, що веб-ресурс IDroo є плагіном програми Skype, а це викликає певні складнощі в роботі (встановлення, попереднє завантаження програми Skype, попереднє ознайомлення з інтерфейсом).

**Quizlet** – це сервіс, що дозволяє створювати тести для швидкого запам'ятовування нових слів. Ресурс ефективно використовувати для вивчення іноземних мов.

Перша згадка про Quizlet з'явилася у 2005 році [6], коли американський школяр Ендрю Сазерленд готуючись до тесту намагався вивчити список з 111 французьких слів. Батько допомагав йому вчити слова по картках. Саме тоді 15-річний Ендрю вирішив, що написати програму для того, щоб спостити процес заучування нових слів і відслідковувала б прогрес, як це робив його батько, тільки точніше. У результаті Ендрю склав тест на "відмінно", його програмою зацікавилися інші учні. А через рік вдосконалена програма побачила світ, згодом на Quizlet.com вже було більше 400 000 зареєстрованих користувачів. Зараз цей сайт нараховує 50 мільйонів користувачів щомісячно.

Авторами Quizlet використано для швидшої мовної адаптації іноземних студентів. Для студентів було розроблено картки по двох категоріях: базові мовні та професійного спрямування. Використання цього веб-ресурсу позитивно вплинуло на засвоєння мовних навичок студентів.

**Classtime** – це платформа для створення інтерактивних навчальних програм, що дозволяє вести аналітику навчального процесу та реалізовувати стратегії індивідуального підходу. Програма доступна і зручна у використанні, допоможе заощадити час та зусилля в підготовці викладача та оцінюванні студентів. Classtime працює в режимі реального часу та забезпечує відстеження роботи студентів протягом всього заняття. При цьому сервіс забезпечує індивідуальний режим роботи для кожного студента [7]. На сайті існує понад 30 тисяч питань для учнів та студентів, також можна створювати свої.

На основі використання цього ресурсу авторами було створено власний тест з предмету «Спеціальні розділи дослідження операцій» (рис. 2) [8].

Рис. 2. Створення питань в Classtime

Використання Classtime має певні переваги:

- модуль включає велику кількість вправ та тестів з можливістю виставляти оцінки;
- конструктор дозволяє додавати до завдання зображення як з комп'ютера, так і по посиланню з інтернету, а також завантажувати відео з YouTube;
- є функція створення власних завдань та публікування їх в спільній бібліотеці, після перевірки модератором (рис. 3);
- можливість проводити команди ігри та завантажувати персональні й класні звіти.



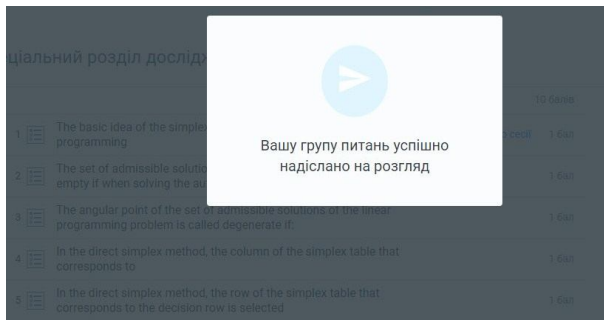


Рис. 3. Модерація

**Quizizz** – це сервіс для створення опитувань і вікторин з англійським інтерфейсом [9]. Має можливість створювати вікторини, велику кількість тестів яку створених власноруч, так і запозичених. Сервіс дозволяє: організувати змагання; аналізувати особисті досягнення та результати кожного користувача; надавати автоматичний зворотний зв'язок.

Авторами було розроблено власну вікторину для предмету «Інформатика та програмування» [10] за темою «Системи числення» (рис. 4).

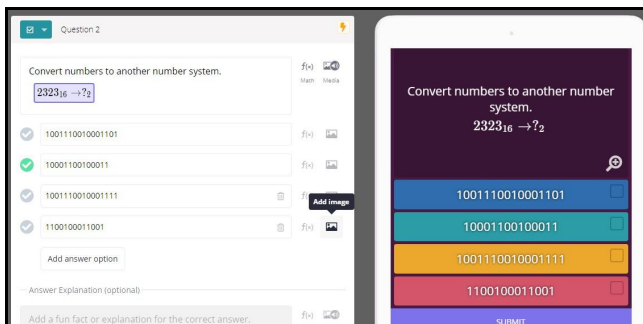


Рис. 4. Робота з Quizizz

**LearningApps** – навчальний додаток, який використовує інтерактивні модулі та базується на ігровій формі, що сприяє формуванню пізнавального інтересу [11].

Ресурс має різноманітний вибір шаблонів для створення інтерактивних завдань: кросворд, пазл, класифікація, вікторина, заповнити пропуск, завдання на відповідність, хронологію та інші.

Перевагою є не обов'язкова реєстрація та великий набір мов інтерфейсу. Запропоновані розробниками 23 мови доводять універсальність додатку.

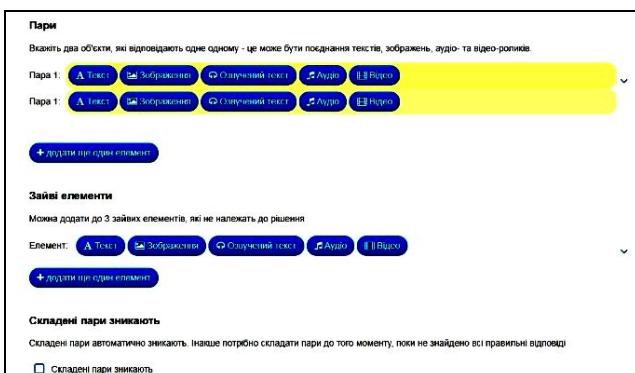


Рис. 5. Створення завдань в LearningApps

**Google Форми** – додаток для адміністрування опитувань, який є частиною офісного пакету Google Діску та Google Classroom разом з Google Docs, Google Sheets і Google Slides. У Google Forms є всі функції спільної роботи й обміну, що є в документах, таблицях і презентаціях. Використання Google Forms є достатньо популярним серед користувачів за рахунок своєї універсальності: форму опитування або тесту можна вбудувати на сайт, в блог, відправити посилання по пошті; результати опитування легко побачити в таблиці чи діаграмі [12]; можна проводити соціологічні чи навчальні опитування, вікторини, створювати анкети, тести.

Виділимо декілька основних переваг використання сервісів Google:

- підтримують всі операційні системи і клієнтські програми, що використовуються студентами та навчальними закладами;
- мінімальні вимоги до апаратного забезпечення;
- інструменти не вимагають витрат на придбання і обслуговування спеціального програмного забезпечення;
- автоматична обробка даних та статистика;
- адаптивність до мобільних пристроїв із збереженням повного функціоналу;
- підтримка різних форматів: простий текст, HTML, DOC, RTF, OpenDocument, PDF.

Використовуючи сервіси Google Forms авторами було розроблено тест [13] для вхідного контролю знань з математики для іноземних студентів (рис. 6).

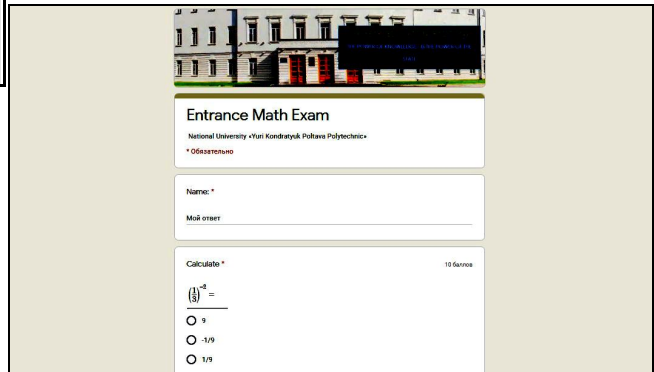


Рис. 6. Вхідний тест з математики

Сервіси Google є ефективними не тільки в навчанні, а й в робочій практиці чи в майбутній професії, цьому сприяє велика розповсюдженість програмних продуктів компанії Google.

### Мультимовні довідники

Для виконання курсових, дипломних робіт, реалізації лабораторних досліджень класично застосовуються методичні довідники. Практика використання методичних матеріалів не нова й популярна. Освітній процес для студентів іноземців має певні особливості, що суттєво впливають на ефективність використання методичних довідників, які пов'язані з проблемою перекладу. Адже рівень володіння мовою є недостатньо високим, то ж засвоєння нового матеріалу викликає певні труднощі, особливо з вивчен-

ням термінів. Ефективним розв'язанням цієї проблеми, на думку авторів, може стати мультимовний довідник. Ідея його використання полягає в тому, що кожну тему потрібно подавати різними мовами, наприклад, українською, англійською та арабською.

Застосування мультимовного довідника позитивно впливає на засвоєння нового матеріалу, швидкість вивчення нових слів та термінів, вдосконалення мови як розмовної, так і професійного спрямування.

### Висновки

Використання освітніх онлайн-ресурсів з кожним роком набуває все більшої популярності, що

породжує дивергенції функцій та форм освіти. Різноманітна кількість нових методів навчання дає можливість вибору тої чи іншої методики з залежності від особливостей сфери вивчення та розширює коло можливостей для покращення освітнього процесу для студентів іноземців. Подана авторами добірка онлайн-ресурсів дозволяє суттєво зберегти час та підвищити ефективність та якість освіти.

Запропонована авторами інновація – використання мультимовних довідників є зручним та практичним інструментом, що ефективно підвищує якість освітнього процесу та спрощує процес адаптації.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кушнір, Ірина Миколаївна. "Формування соціокультурної компетентності іноземних студентів-нефілологів засобами дистанційного навчання." Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології 6 (2014): 372-379.
2. Палій, С. В. "Створення структурної моделі інформаційно-організаційного середовища підготовки та соціальної адаптації іноземних студентів." Управління розвитком складних систем 8 (2011): 112-116.
3. Селіверстова, Л. "Проблеми укладання навчальних програм з української мови як іноземної." Теорія і практика викладання української мови як іноземної. – Львів (2008): 21-26.
4. Дем'яненко В. Використання сучасних веб-технологій для системи контролю та моніторингу знань студентів / V. Demianenko, N. Ichanska // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2019. – Т. 2 (54). – С. 83-86. – doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.2.083.
5. ІЧАНСЬКА, Н.; НАЛИВАЙКО, Л. Викладання математики іноземним студентам технічних спеціальностей. Витоки педагогічної майстерності. Серія: Педагогічні науки, 2017, 20: 116-120.
6. Обзор Quizlet – сервиса для изучения слов по карточкам – Режим доступа до ресурсу: <https://langformula.ru/quizlet/>.
7. CLASSTIME — ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОНЛАЙН ОБУЧЕНИЯ – Режим доступа до ресурсу: <http://didaktor.ru/classime-effektivnyj-instrument-dlya-onlajn-obucheniya/>.
8. Спеціальний розділ дослідження операцій. Тест 1 – Режим доступа до ресурсу: <https://www.classime.com/share/cad6e6c7-5bfb-4799-9c21-362ba6774758>.
9. Quizizz для создания викторин и тестов. Пошаговая инструкция – Режим доступа до ресурсу: [http://marinakurvits.com/quizizz/#Quizizz\\_v\\_ucebnoj\\_rabote](http://marinakurvits.com/quizizz/#Quizizz_v_ucebnoj_rabote).
10. System of numbers – Режим доступа до ресурсу: – <https://quizizz.com/admin/quiz/5f6a61a54df84c001c48bf59>.
11. Конструктор интерактивных заданий LearningApps – Режим доступа до ресурсу: <http://e-asveta.edu.by/index.php/distancionni-vseobuch/obuchenie-online/servisy-dlya-sozdaniya-interaktivnykh-uprazhneniy/58-learningapps>.
12. Google форма – Режим доступа до ресурсу: <https://sites.google.com/site/ikt640/google-forma>.
13. Entrance Math Exam – Режим доступа до ресурсу: <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSflgEYMPLSVX1Np1r8nZRMfLMtG-qP2shRsOVkQ1juSXgepZA/viewform>.
14. Bootcamp — революция в системе образования украинских IT-специалистов – Режим доступа до ресурсу: <https://ain.ua/2017/03/08/bootcamp-revolyuciya-v-sisteme-obrazovaniya-ukrainskix-it-specialistov/>.

Received (Надійшла) 20.07.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 02.09.2020

### Application of educational internet resources in educational work with foreign students

N. Ichanska, S. Sirovyi

**Abstract.** The subject of research is methods and forms of learning that use educational online resources. The article describes and analyzes the main functions and benefits of using existing educational web resources and multilingual directories. The analysis and guidelines provided by the authors are especially useful for students receiving IT education. The paper shows the convenience and efficiency of using Internet resources for the study of foreign students, taking into account the peculiarities of learning and moments of adaptation. Now the educational environment, as never before, must meet all the urgent challenges of the times. Which emphasizes the urgency of improving the quality of the educational process. The authors study the current problem of compliance of the educational environment with the pace of development of the modern world and the challenges of the time and methods of improving the quality of the educational process in the training of foreign students. As an innovative system, the authors propose the use of multilingual reference books. Which should improve the understanding of the material and encourage students to learn other languages. **Results** - the authors formed a list of effective training modules, described the benefits, recommendations and arguments for the use of the considered web resources. For clarity, the authors use tests and methodological materials created personally. The efficiency of application of multimedia reference books on the experience of the existing methodical reference book is considered. The authors show the novelty, relevance, effectiveness of the parallel use of several languages at the entrance to the study of one topic by the student. **Conclusions** - the paper considers effective training modules that are particularly adaptable to the education of foreign students, suggests the use of multilingual reference books, which not only improve the quality of the educational process, but also simplify the adaptation process. Proving the effectiveness of the web resources proposed by the authors on the example of personal tests. The authors provide screenshots of the interfaces of the considered web resources.

**Keywords:** modules for learning, IDroo, Quizlet, Classtime, Quizzz, LearningApps, Google Forms, multilingual directories.



О. М. Одарущенко

Науково-виробниче підприємство «Радікс», Кропивницький, Україна

## ОЦІНЮВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ РОЗРОБЛЕННІ ТА ЛІЦЕНЗУВАННІ МОДУЛІВ І ПЛАТФОРМ ДЛЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ

**Анотація.** Виконано аналіз сучасного стану досліджень в галузі надійності та функційної безпеки програмно-технічних комплексів інформаційно-керуючих систем (ПТК ІКС). Встановлено, що не зважаючи на використання нової елементної бази в ході модернізації та розроблення нових ПТК ІКС, застосування сучасних технологій розробки їх апаратної та програмної компонент, підвищення ефективності технологічних процесів, зниження ресурсемності виробництва не призвело до достатнього прогресу у вирішенні завдань проектування ПТК з необхідним і гарантованим рівнем надійності і функційної безпеки. Крім того, встановлено, що не зважаючи на інтенсивні дослідження впродовж останніх десятиліть залишається низка нерозв'язаних задач і обмежень існуючих методів і засобів, а саме: моделі, які описують надійнісну і безпекову складові, не ураховують розмірності задач і обмежень існуючих методів; у сучасних методах оцінювання функційної безпеки аспекти безвідмовності апаратних і програмних засобів розглядаються відокремлено, без спільного кількісного аналізу результатів верифікації; методи розроблення й забезпечення відмовостійкості ПТК з використанням програмовних платформ недостатньо ураховують можливості, обмеження і похибки вбудованих засобів контролю і діагностування на рівні електронних проектів, модулів і каналів. Представлений в роботі метод частково вирішує перелічені задачі.

**Ключові слова:** програмно-технічний комплекс, інформаційно-керуюча система, дефект, надійність, функційна безпека, етапи моделі життєвого циклу.

### Вступ

В забезпеченні безпеки АЕС, авіаційних і ракетно-космічних комплексів інших критичних об'єктів важливу роль відіграють інформаційно-керуючі системи (ІКС), ядром яких є програмно-технічні комплекси (ПТК). Вартість відмов апаратних, програмних, програмовних засобів ПТК ІКС, є надзвичайно високою.

Найважливішою характеристикою ІКС є функційна безпека, яка відповідно до міжнародних і національних стандартів [1, 2] визначає здатність систем мінімізувати ризики переходу в аварійний (небезпечний) стан та/або його наслідки. Для України актуальність нормування, моніторингу, оцінювання та забезпечення функційної безпеки підтверджується наявністю великої кількості аварійно небезпечних об'єктів, перш за все, реакторів АЕС.

Це зумовлює необхідність: по-перше, гарантованого виконання вимог до стійкості до відмов програмних, програмовних, апаратних засобів, збурень різної природи та змін характеристик фізичного та інформаційного середовища; по-друге, забезпечення якості розроблення і точності відтворення реальних потреб використання ПТК ІКС за призначенням; по-третє, мінімізації часових, енергетичних та інших ресурсів, які використовуються.

Сьогодні процеси модернізації існуючих та розробки перспективних ПТК ґрунтуються на використанні нової елементної бази, сучасних технологіях розробки їх апаратної та програмної компонент. Це, з одного боку, розширює можливості ІКС, призводить до підвищення ефективності технологічних процесів, знижує ресурсемність виробництва, а з іншого боку – призводить, до зростання ризиків, які супроводжують процес підвищення залежності фун-

кціональності, надійності і безпеки від якості проектних рішень. Тобто збільшення можливостей сучасної елементної бази, впровадження індустріальних технологій розробки програмного забезпечення не привело до такого ж прогресу у проектуванні ПТК з необхідним і гарантованим рівнем надійності і функційної безпеки.

Слід зазначити, що такий стан речей склався, не зважаючи на інтенсивні дослідження впродовж останніх десятиліть, які виконувалися в Україні та за її межами рядом науковців, зокрема, Т. Anderson, А. Avizienis, J.-C. Laprie, P. Popov, B. Randell, A. Romanovsky, S. Russo, F. Saglietti, K. Trivedi, J. Vain, Б.Ю. Волочием, О.В. Дроздом, Д.А. Маевським, В.М. Опанасенко, О.М. Романкевичем, В.І. Хахановим, М.А. Ястребенецьким та інш.

На сьогодні залишається низка нерозв'язаних задач і обмежень існуючих методів і засобів, а саме:

- моделі, які описують надійнісну і безпекову (як інформаційну так і функційну) складові, не ураховують реальну розмірність задач оцінювання з огляду на складність індустріальних ІКС і ПТК, змінність параметрів відмов і відновлень;

- у методах оцінювання функційної безпеки, насамперед, аспекти безвідмовності апаратних і програмних засобів розглядаються відокремлено, без спільного кількісного аналізу результатів верифікації;

- методи розроблення й забезпечення відмовостійкості ПТК з використанням програмовних платформ недостатньо ураховують можливості, обмеження і похибки вбудованих засобів контролю і діагностування на рівні електронних проектів, модулів і каналів тощо.

Таким чином, можливо зробити висновок що на сьогодні існує невідповідність між розширенням

множини причин порушення працездатності ПТК ІКС внаслідок фізичних і проектних дефектів їх компонентів, зміною параметрів потоків відмов, відновлень і оновлень, апаратних, програмних і інформаційних ресурсів і рівнем розвитку сучасних методів і засобів оцінювання та забезпечення надійності та функційної безпеки ПТК.

Подолати цю невідповідність можливо шляхом вирішення проблеми комплексного оцінювання і забезпечення надійності і функційної безпеки ПТК для ІКС критичного застосування з урахуванням відмов, обумовлених проектними, фізичними дефектами і вразливостями програмних і апаратних засо-

бів (включаючи відмови з загальної причини), а також зміни параметрів потоків їх відмов і відновлень.

**Мета статті** – представлення основних етапів методу оцінювання та забезпечення функційної безпеки при розробленні та ліцензуванні модулів і платформ для програмно-технічних комплексів інформаційно-керуючих систем.

### Основна частина

У відповідності до вимог стандартів [1, 3] узагальнена V - модель життєвого циклу (ЖЦ) розроблення та тестування ПТК ІКС має вигляд (рис. 1).

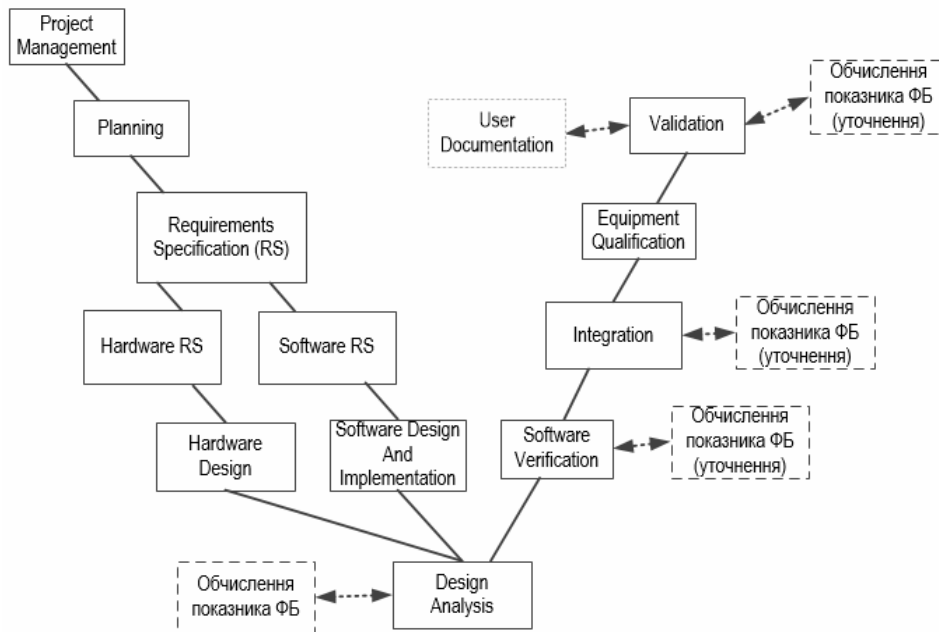


Рис.1. V – модель життєвого циклу розроблення та тестування ПТК ІКС

До основних етапів розроблення ПТК ІКС життєвого циклу відносяться:

- Project Management (етап взаємодії замовника і виробника, на якому документально встановлюються юридичні відносини між майбутніми учасниками проекту: вивчення тендерних замовлень, специфікації на продукт замовника, розроблення основних проектних планів менеджменту тощо);
- Planning (етап розроблення проектних планів);
- Requirements Specification (RS) (етап розроблення специфікації вимог на систему в цілому);
- Hardware RS та Software RS (етапи розроблення специфікацій вимог до HW та SW);
- Hardware Design та Software Design and Implementation (етапи детального дизайну та реалізації HW та SW компонент системи);
- Design Analysis (етап аналізу прийнятих проектних рішень). Етап характеризується можливістю первинного оцінювання показників функційної безпеки;
- Software Verification (етап тестування SW компонент системи). Етап характеризується можливістю уточнення показника ФБ на підставі обробки статистичних даних про відмови SW;

- Integration (етап інтеграційного тестування системи). Етап характеризується можливістю уточнення показника ФБ з урахуванням оброблених статистичних даних відмов SW та HW;

- Equipment Qualification (етап кваліфікаційних випробувань системи – на сейсмічну стійкість, електромагнітну сумісність тощо);

- Validation (етап перевірки виконання системних вимог ПТК ІКС). Етап характеризується фінальним оцінюванням показника ФБ.

Оцінювання показників ФБ на відповідних етапах ЖЦ здійснюється із застосуванням методу оцінювання та забезпечення функційної безпеки при розробленні та ліцензуванні модулів і платформ для ІКС на програмовних логічних інтегральних схемах (рис. 2).

Етап 1 – застосування послідовності оцінювання надійності ПЗ шляхом комплексування моделей оцінювання надійності програмного забезпечення (МНПЗ) та урахування їх вторинних дефектів [4÷15].

Початкові дані етапу наступні:  
специфікація системних вимог,  
специфікація вимог до ПЗ,  
детальний дизайн та реалізація ПЗ,

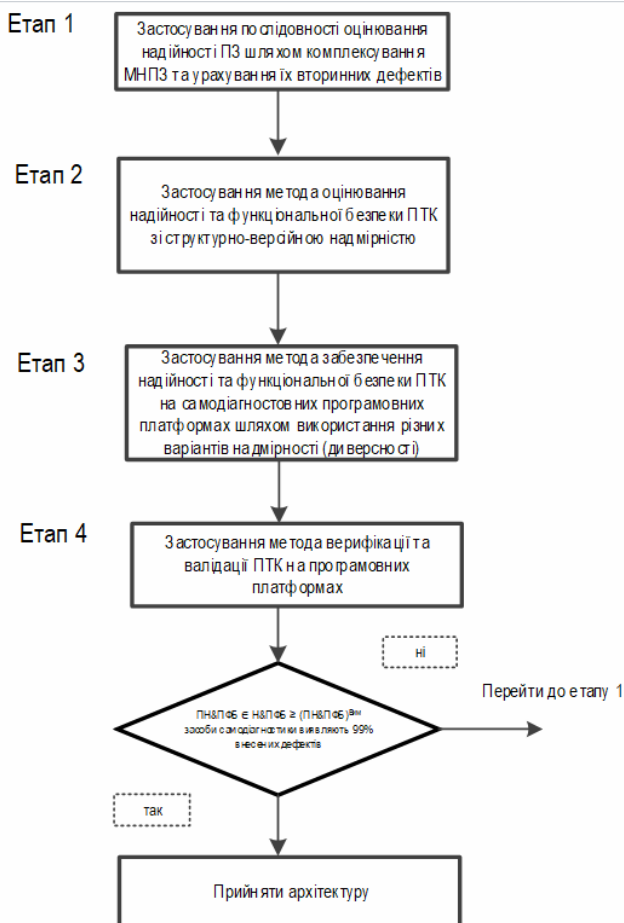


Рис. 2. Основні етапи методу оцінювання та забезпечення функційної безпеки

статистичні дані про дефекти проектування програмних засобів (ДП ПЗ),

одержані в результаті такого аналізу ліній регресії, рівняння лінії регресії та коефіцієнт кореляції.

Результатами виконання етапу є значення функції ризику  $\lambda_{\text{дп}}(t)$  та величини її зміни  $\Delta\lambda_{\text{дп}}(t)$  на основі обраних та модифікованих МНПЗ.

Етап 2 – застосування методу оцінювання надійності та функційної безпеки ПТК зі структурно-версійною надмірністю [12].

Початкові дані етапу такі:

- специфікація системних вимог (опис системних функцій,

опис сценаріїв функціонування, функціональні вимоги, вимоги до інтерфейсів, вимоги до продуктивності, вимоги до оточуючого середовища, вимоги до інформаційної безпеки, вимоги до надійності та функційної безпеки), специфікація вимог до Software, специфікація вимог до Hardware, архітектурні вимоги до ПТК, детальний дизайн SW та HW.

Результатами виконання етапу є обчислені прогностичні значення показників надійності та функційної безпеки ПТК за обраною архітектурою.

Етап 3 – застосування методу забезпечення надійності та функційної безпеки ПТК на самодіагностовних програмовних платформах шляхом використання варіантів надмірності (диверсності) [8].

Початкові дані етапу такі:

- специфікація системних вимог (опис системних функцій, опис сценаріїв функціонування, функціональні вимоги, вимоги до інтерфейсів, вимоги до продуктивності, вимоги до оточуючого середовища, вимоги до інформаційної безпеки, вимоги до надійності);

- специфікація вимог до Software;

- специфікація вимог до Hardware, архітектурні вимоги до ПТК;

- детальний дизайн SW та HW; результати Етапу 2;

- результати тестування.

Результатами виконання етапу є обчислені прогностичні значення показників функційної безпеки ПТК з урахуванням особливостей застосування самодіагностовних програмовних платформ для їх побудови.

Етап 4 – застосування методу верифікації та валідації ПТК на самодіагностовних програмовних платформах [9].

Початковими даними для виконання етапу є результати виконання попередніх етапів.

Результатами виконання етапу є виконання завдань з SW та HW Fault Insertion Testing, які полягають у виконанні тестів з внесенням дефектів в апаратні та програмні компоненти системи. Проведення даного виду тестування дає можливість перевірити якість проектних рішень щодо побудови підсистем вбудованої програмної та апаратної діагностики.

Далі виконується перевірка значень обчислених показників надійності та функційної безпеки на відповідність заданим в специфікації системних вимог.

За умовою позитивної відповіді оцінювання показників надійності та функційної безпеки вважається завершеним, а обрана архітектура ПТК приймається для подальшої розробки.

У протилежному випадку здійснюється перехід до етапу 1.

## Висновки

Одержано комплексний метод оцінювання та забезпечення функційної безпеки при розробленні та ліцензуванні модулів і платформ для інформаційно-керуючих систем на програмовних логічних інтегральних схемах. Метод послідовно об'єднує:

- послідовність оцінювання надійності ПЗ шляхом комплексування МНПЗ та урахування їх вторинних дефектів;

- метод оцінювання надійності та функційної безпеки програмно-технічних комплексів зі структурно-версійною надмірністю;

- метод забезпечення надійності та функційної безпеки ПТК на самодіагностовних програмовних платформах шляхом використання різних варіантів надмірності (диверсності);

- метода верифікації та валідації ПТК на само-діагностовних програмовних платформах.

Метод застосовується в ході реалізації V-моделі життєвого циклу розроблення, тесту-

вання і ліцензування модулів і платформ ПТК ІКС і дозволяє оперативно вносити корегуючі дії щодо проектних рішень їх апаратних та програмних компонент.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. IEC 61508. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems [Text]. Published. 2010-04. – IEC Standards, 2010. – 594 p. 2 International standard ISO/IEC FDIS 25010. System and software quality models. – 2010, 34 p.
2. IEC 61513. Nuclear power plants – instrumentation and control for systems important for safety – general requirements for systems [Text]. Published. 2011-08-25. – IEC Standards, 2011. – II, 86 p.
3. Michel D. Medoff, Rainer I. Faller. Functional Safety – An IEC 61508 SIL 3 Compatible Development process [Text] / exida.com.L.L.C., 2010.- 282 p.
4. Полонников Р.И. Методы оценки показателей надежности программного обеспечения / Р.И. Полонников, А.В. Никандров. – СПб.: Политехника – 1992. – 78 с.
5. Одарушенко О. Н. Учет вторичных дефектов в моделях надежности программных средств / О. Н. Одарушенко, А.А. Руденко, В.С. Харченко // Математичні машини і системи. – Київ: ППМС НАН України, 2010. – № 1. – С. 205-217.
6. Руденко А. А. Информационная технология оценки надежности программных средств с учетом вторичных дефектов / А. А. Руденко, Е. Б. Одарушенко, О. Н. Одарушенко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПолтНТУ, 2015. – Випуск 1 (33). – С. 146-150.
7. Харченко В.С. Анализ сценариев и определение параметров для оценки надежности программных средств с учетом вторичных дефектов / В.С. Харченко, О. Н. Одарушенко, А. А. Руденко, Е. Б. Одарушенко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Київ: Державне підприємство „Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління”, 2011. – Випуск 2 (18). – С.273-280.
8. Скляр, В. В. Модели отказов информационно-управляющих систем на основе самодиагностируемых программируемых платформ в системах аварийной защиты реакторов [Текст]/ В. В. Скляр, О.Н. Одарушенко, Ю.Л. Поночовный, Е.Н. Бульба, А.О. Ивасюк// Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2015. – № 4(74). – С. 19-24.
9. Odarushchenko, O., Strjuk, O., Leontiiiev, K., Ivasyuk, A., Kharchenko, V Fault-Insertion Testing: SW & HW FIT-Ability, Procedure and Tools for Safety PLC-Based System SIL Certification. Proceeding of The 9th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT'2018 24-27 May, 2018, Kyiv, Ukraine.
10. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
11. Nechausov A., Mamusuc I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21-26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
12. Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / С.Ю. Гавриленко. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, № 2. С. 116-121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
13. Ястребенецкий, М.А. Безопасность атомных станций: системы управления и защиты ядерных реакторов: [Текст] : монография/ М. А. Ястребенецкий, Ю. В. Розен, С. В. Виноградская, Г. Джонсон, В. В. Елисеев, А. А. Сиора, В. В. Скляр, Л. И. Спектор, В. С. Харченко; под ред. М. А. Ястребенецкого. – К.: Основа-Принт, 2011. – 768 с. 11.
14. Ястребенецкий, М.А. Безопасность атомных станций: Информационные и управляющие системы [Текст] : монография / М. А. Ястребенецкий, В. Н. Васильченко, С. В. Виноградская, В. М. Гольдрин, Ю. В. Розен, Л. И. Спектор, В. С. Харченко; под ред. М. А. Ястребенецкого. – К. : Техніка, 2004. – 472 с.
15. Технологии высокой готовности для программно-технических комплексов [Текст]: монография/ В.С. Харченко [и др.], под ред. В.С. Харченко, Б.М. Конорева; Гос. центр. регулирования качества поставок и услуг, Нац. Аэрокосм.ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».-Х.: ХАИ, 2010.-372с. ISBN 978-966-662-198-9.

Received (Надійшла) 25.05.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.07.2020

#### Assessment and safety functions providing during development and licensing of modules and platforms for safety based instrumentation and control systems

O. Odarushchenko

**Abstract.** An analysis of the current state of research in the field of reliability and functional safety has been performed. It has been established that despite the use of a new element base during the modernization and development of new software and hardware systems for Instrumentation and Control systems (I&C), the use of modern technologies for the development of their hardware and software components, increasing the efficiency of technological processes, and reducing the resource consumption of production did not lead to sufficient progress in solving the problems of designing a hardware and software complex with the necessary and guaranteed level of reliability and functional safety. In addition, it has been established that, despite intensive research over the past decades, a number of unresolved problems and limitations of existing methods and tools remain, namely: in the methods of functional safety assessment, first of all, aspects of hardware and software reliability are considered separately, without a joint quantitative analysis of the verification results; methods of development and maintenance of fault tolerance of I&C with use of software platforms insufficiently consider possibilities, limitations and errors of the built-in means of control and diagnostics at the level of electronic projects, modules and channels. The method presented in the work partially solves these problems.

**Keywords:** Instrumentation and Control system, defect, reliability, functional safety, stages of the life cycle model

S. Olizarenko<sup>1</sup>, V. Argunov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kharkiv National University of Radio Electronics University, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup> HIPSTO, Kharkiv, Ukraine

## ON POSSIBILITIES OF MULTILINGUAL BERT MODEL FOR DETERMINING SEMANTIC SIMILARITIES OF THE NEWS CONTENT

**Abstract.** The results of implementation of modern achievements in the field of Natural Language Processing field based on the methods and models of Deep Learning technologies into the HIPSTO's system management of content (HIPSTO Publishing, AI Technology, Digital Media, Mobile Apps) are discussed and analyzed. In particular, the possibilities and ways of applying the multilingual BERT model to handle the problem of semantic likeness of news content have been investigated. An efficient method is proposed to define the semantic similarities of the multilingual news content in HIPSTO aggregated news feeds on the basis of the sentence embeddings using the first task of the pre-trained multilingual BERT model within the HIPSTO system of content management. The results of the research highlight the effectiveness and promise of this technology within the HIPSTO project. Below the data of its first implementation in HIPSTO are substantiated scientifically and experimentally.

**Keywords:** Natural Language Processing; BERT; semantic similarities; news content, Deep Learning.

### Introduction

This study is a part of development of AI driven (mobile) information curation platform HIPSTO (hobbies, heroes, interests, people, personalities, subjects, topics, objects and organizations). The HIPSTO content management system consists of the three major blocks (Fig. 1):

- content scraping;
- content moderation and information discovery;

- content delivery.

The goal of this research is to investigate the best approach for building a related news and article detection service to accomplish the information discovery layer of HIPSTO.

The verification system should provide, among others, the solution for the problem of semantic likeness detection problem in analyzing the news multilingual content using the latest advances in Natural Language Processing (NLP).

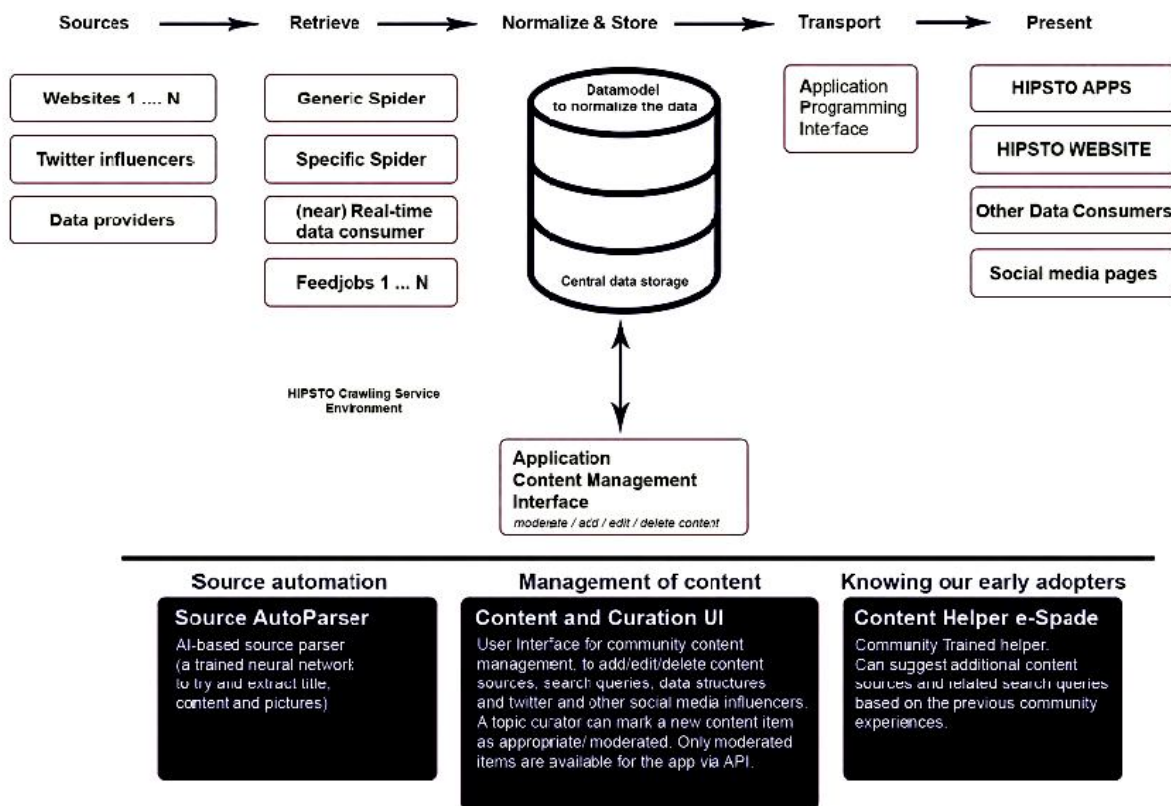


Fig. 1. The place of the HIPSTO's system management of content in the general HIPSTO technology

**Analysis publications.** A promising approach for multilingual news content is provided in the pre-trained finding semantic similarity in the analysis of multilingual model at the level of sentence embeddings.

Currently, almost all of these models are implemented using Deep Learning techniques. Let us consider the best-known ones. For example, the paper (Yang et al., 2019) [1] reviews the multilingual universal sentence encoder for semantic retrieval in 16 languages within the group of models embedding sentences of universal sentence coder (USE) (Cer et al., 2018) [2]. The models are implementations of the CNN (Kim, 2014) [3] and Transformer architectures (Vaswani et al., 2017) [4]. It is proposed (Lee, 2019) [5] to implement a multilingual similarity search using a bi-directional LSTM with preparatory training on the basis of LASER (Language-Agnostic SEntence Representations) [6]. Recently (2018) the development of a set of BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) models [7] has come as the main breakthrough in the of NLP field. Its possibilities are currently being studied by the scientific community, they have been used practically and as a boost to develop new NLP models in 2019 (see XLNet, RoBERTa (Robustly Optimized BERT Pretraining Approach), ERNIE (Enhanced Representation through kNowledge IntEgration) and others). BERT is a new method of pre-training language representations that obtains high quality results on a wide range of Natural Language Processing (NLP) tasks [8]. The BERT complex includes the multilingual "BERT-Base, Multilingual Cased" model, which currently includes the largest number of languages among the multilingual models of this class. The paper (Lee, 2019) [9] proposes the task of identifying similarities among news articles using the other task of the pre-trained multilingual BERT model (next sentence prediction (NSP)).

This paper researches a more effective way of defining the semantic similarities of news multilingual content based on sentence embeddings using the first task of the pre-trained multilingual BERT model (masked language model (MLM)).

### The Generalized Scheme of Research

The generalized scheme of research includes the realization of the following main steps:

- 1) experiment execution:
  - implementation of the NLP model for creating contextual word embeddings with the subsequent formation of sentence embeddings;
  - determination of the degree of similarity of sentence embeddings using the selected metric;
- 2) reporting and analysis of the results of determination of the degree of similarity of sentence embeddings;
- 3) identification of the areas of difficulty and the ways to address them when defining the semantic similarity of the multilingual news content based on sentence embeddings using the appropriate BERT model.

### Experiment Technique

**The Implementation of the NLP Model.** The multilingual NLP model can be implemented using the "BERT-Base, Multilingual Cased" model, which includes 104 languages, 12 layers, 768 hidden layers and 177M of parameters. Here we consider the

multilingual NLP model for the determining of the semantic similarity of the generalized, non-thematic multilingual news content, omitting the issues of constructing a training sample for fine-tuning of the model on a specific topic and directly fine-tuning of the BERT model. The pre-trained multilingual BERT model is used here only to create contextual word embeddings. In this connection, the research investigates the possibilities of using output vectors of individual layers and the combination of the layers within the BERT model to determine the best embeddings. Firstly, this is because the different layers of BERT encode quite different types of information that can be used accordingly in a variety of tasks of NLP. Secondly, rather high values of the quality indicators of the model's functioning can be obtained on different layers without fine-tuning (see the work (Alammar, 2019) [10]). Here the results of the formation of word vectors on the following layers of the model are analyzed:

- 1) 7 Embedding-Norm False (First Layer);
- 2) 79, 87, 95, 103 Encoder-12-FeedForward-Norm False (Sum Last Four Hidden);
- 3) 79, 87, 95, 103 Encoder-12-FeedForward-Norm False (Concat Last Four Hidden);
- 4) 103 Encoder-12-FeedForward-Norm False (Last Layer).

The sentence embeddings were created using two approaches:

- 1) each element of sentence embeddings is taken as the average of the corresponding elements of all word embeddings of news content (mean);
- 2) each element of sentence embeddings is transformed using MaskedGlobalMaxPool1D [11] layer, expanding the basic multilingual BERT model (pool).

**The Degree of Similarity.** Since the NLP deep neural network model presents multilingual content as object vectors, the degree of similarity of the content is determined by measuring the distance between these objects. There are several metrics to determine the degree of similarity, such as the Jaccard Similarity, K-means, Cosine Similarity, Jensen-Shannon distance, etc.

The Cosine Similarity was used in this research for defining the similarity of two contents, then the results were converted into angular distance as in this paper [2]

$$(u, v) = \left( 1 - \arccos \left( \frac{uv}{|u| \cdot |v|} \right) \right) / \pi. \quad (1)$$

where  $u, v$  are the sentence embeddings obtained from the outputs of the NLP deep neural network model layers.

Besides, according to the recommendations in [12], a relative rather than an absolute assessment of the results of the Cosine Similarity definition is made

$$\begin{aligned} & \text{IF } \text{sim}(u, v) > \text{sim}(u, c) \\ & \text{THEN } u \text{ is more to } v \text{ THAN } c. \end{aligned} \quad (2)$$

The results on similarity are visualized within [13]. It is based on constructing a scatter diagram and a



dimension chart of sentence embeddings. The degree of similarity decreases when the scatter and the dimensions of vector parts on diagrams increase.

**Analysis and results**

The possibilities offered by the multilingual BERT model for determining the semantic similarity of news content are analyzed using the test data:

1) the marked-up SentEval set (STSbenchmark) for estimating the correspondence results on the NLP deep neural network model to determining semantic similarity [14];

2) a data set including pairs of completely identical sentences, but in different languages (“English -

Chinese”, “English - Spanish”, “English - German”, “English - Italian”, “English - Russian”) for evaluating the results of the NLP neural network model for determining inter-language semantic similarity.

Table 1 shows the averaged data for the multilingual BERT model in various configurations on the SentEval set.

The diagrams Fig. 2, show the results of the Cosine Similarity obtained with the NLP deep neural network model on solving the problems of inter-language semantic similarity for the configuration of the First Layer, Concat Last Four Hidden, Last Layer model (the method of generation of sentence embeddings for all layers - pool).

Table 1 – The averaged data for the multilingual BERT model in various configurations on the SentEval set

№	Adapted Degree of Similarity	Model configuration		The similarity rating value (%)
		layer	way to form sentence embeddings	
1.	Full	First Layer	pool	90.6
2.		Sum Last Four Hidden	pool	88.53
3.		Concat Last Four Hidden	pool	<b>91.72</b>
4.		Concat Last Four Hidden	mean	90.16
5.		Last Layer	pool	82.6
6.		Last Layer	mean	52.6
7.	Partial	First Layer	pool	87.1
8.		Sum Last Four Hidden	pool	81.02
9.		Concat Last Four Hidden	pool	<b>86.97</b>
10.		Concat Last Four Hidden	mean	86.6
11.		Last Layer	pool	72.8
12.		Last Layer	mean	64.09
13.	Absent	First Layer	pool	84.77
14.		Sum Last Four Hidden	pool	80.54
15.		Concat Last Four Hidden	pool	<b>86.7</b>
16.		Concat Last Four Hidden	mean	86.3
17.		Last Layer	pool	69.1
18.		Last Layer	mean	52.6

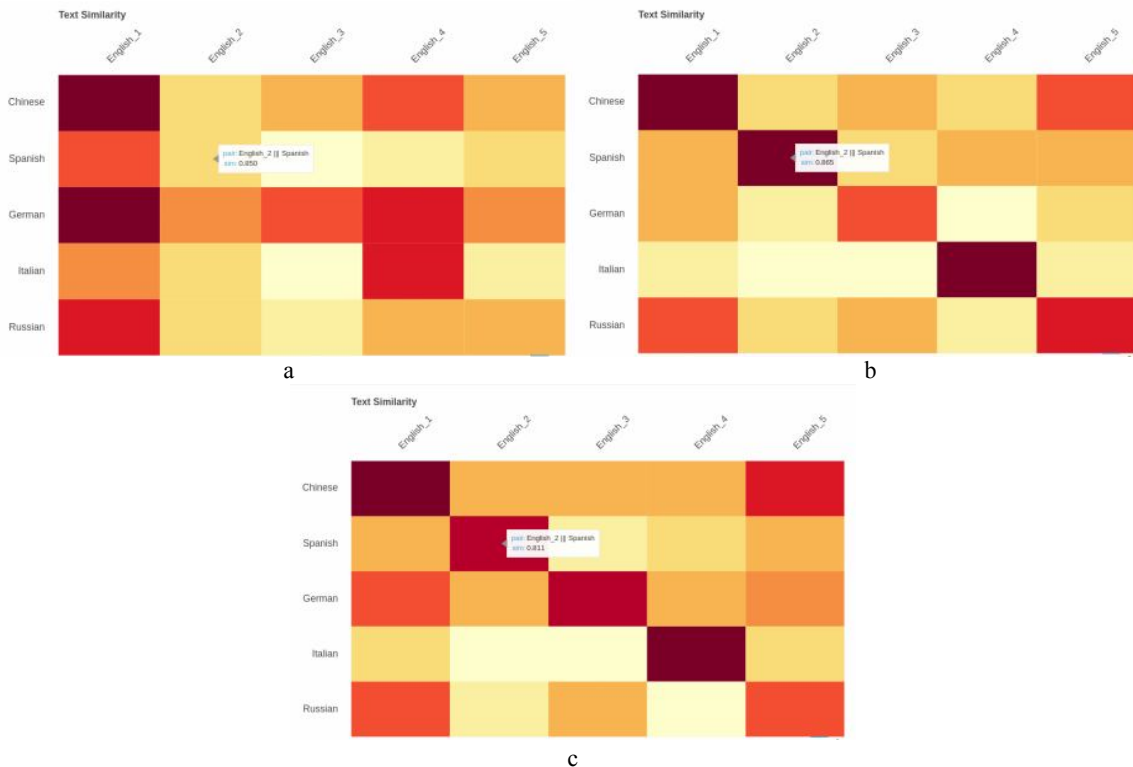


Fig. 2. The results of the Cosine Similarity



Fig. 3–5 The examples of scattering diagrams and dimension values of vector elements in solving the problems of the inter-language semantic similarity for the configuration of the First Layer, Concat Last Four Hidden, Last Layer model (a method of generation sentence embeddings for all layers - pool) for a set of sentences “English - Chinese”.

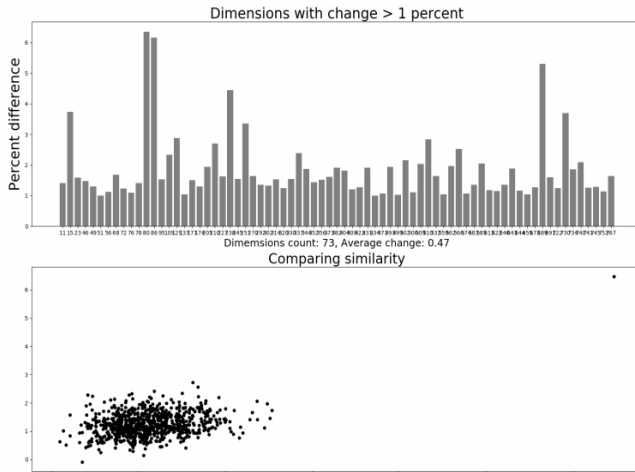


Fig. 3. Scatter diagrams and dimension values for the model configuration with First Layer

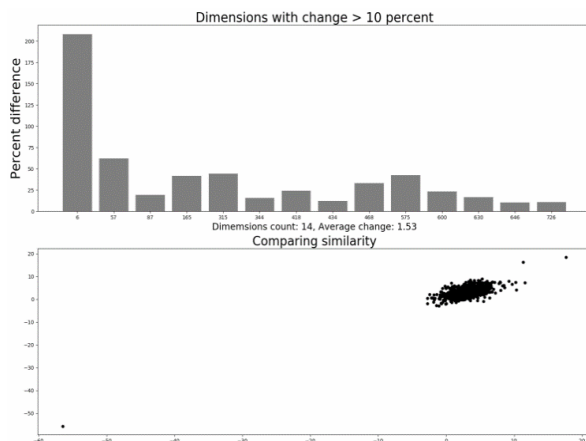


Fig. 4. Scatter diagrams and dimension values for the model configuration with Concat Last Four Hidden

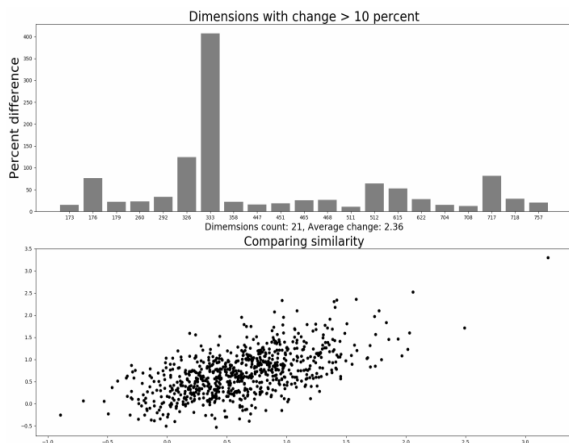


Fig. 5. Scatter diagrams and dimension values for the model configuration with Last Layer

The results obtained using the BERT multilingual model for determining the semantic similarity in the news content analysis show that the model with the Concat Last Four Hidden configuration employing MaskedGlobalMaxPool1D layer has the highest similarity rating values for different data sets.

However, it is important that the lower bound for the similarity score also rises significantly, and the interval between the upper and lower bounds for the similarity score in the model with the Concat Last Four Hidden configuration is one of the smallest.

### Detection of the Problem Points and the Ways of Troubleshooting Them

The multilingual BERT model used to determine the semantic identity of news content in HIPSTO’s system management of content involves the following problems of a classic model restricting the BERT potentiality:

1) limitation of 512 elements on the input sequence of the classic multilingual model which calls for either the modification of certain layers of the model to increase the length of the input sequence and perform subsequent fine-tuning or splitting the input content longer than 512 elements into composite messages with their subsequent processing;

2) requirement of significant computing resources not only at the stage of training and setting up the model, but also during the process of its practical use due to the large number of BERT parameters which require scaling the BERT model and its subsequent effective use for both mobile devices and desktop computers and servers.

How can the use of the model limited to 512 elements determine the length of the sequence of tokens of the input content imposing even more restrictions on the length of the input content sequence. It is obviously necessary to split the input content of more than 512 elements into parts, but the following should be considered:

1) the content should be divided considering crossing of received sentence embeddings to save the contextual dependence of words in sentences at the vector borders as much as possible;

2) when combining vectors into a single sentence embedding, it is necessary to control double-counting of boundary words;

3) technologically, the token dictionary in the Bert model is built so that some words are divided into certain parts, which can appear on the boundaries of vectors where it is difficult to account for them correctly.

Currently, the tasks of pre-processing news content to represent input sequences of information longer than 512 characters are implemented within the HIPSTO technology to effectively process them in the BERT model. To solve the problem of scaling (compression) models, several concepts and approaches are currently used to optimize memory usage and increase the speed of the model.

For example, such approaches include the quantization of models during or after training, the

removal of weight compounds (cutting off by the value of weight, neurons or weight matrices), etc. The studies show that small transformers and BERT sensors can be quantized for mobile devices using TensorFlow Lite without significant loss of accuracy however there is practically no acceleration of output. For stationary systems, post-training quantization using TensorFlow Lite slows down the BERT output by more than 5 times [15]. The HIPSTO technology for BERT scaling explores the approaches based on weight cutting and neuron cutting.

### Conclusions

During the development of the AI driven (mobile) information curation platform HIPSTO the possibilities of using the multilingual model BERT for determining

the semantic similarities of news content were considered.

The results obtained show that the HIPSTO technology can be supplemented with the topology of the BERT model forming word embeddings due to the concatenation of the last four layers and the subsequent formation of sentence embeddings using the MaskedGlobalMaxPool1D layer.

HIPSTO has now implemented preliminary stages of processing news content to effectively address the problem of limiting the input sequence of the modified BERT neural network model, the BERT is practiced based on weight trimming and pruning of neurons. Preliminary results show the efficiency of these approaches both for mobile devices and for fixed systems.

### REFERENCES

1. Yinfei Yang, Daniel Cer, Amin Ahmad, Mandy Guo, Jax Law, Noah Constant, Gustavo Hernandez Abrego, Steve Yuan, Chris Tar, Yun-Hsuan Sung, Brian Strope, Ray Kurzweil Multilingual Universal Sentence Encoder for Sematic Retrieval. arXiv:1907.04307v1 [cs.CL] 9 Jul 2019.
2. Daniel Cer, Yinfei Yang, Sheng-yi Kong, Nan Hua, Nicole Limtiaco, Rhomni St. John, Noah Constant, Mario Guajardo-Cespedes, Steve Yuan, Chris Tar, Brian Strope, and Ray Kurzweil. 2018. Universal sentence encoder for English. In Proceedings of the 2018 Conf. on Empirical Methods in Natural Language Proc.: System Demonstrations, pages 169–174.
3. Yoon Kim. 2014. Convolutional neural networks for sentence classification. In Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), pages 1746–1751.
4. Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N Gomez, Łukasz Kaiser, and Illia Polosukhin. 2017. Attention is all you need. In Proceedings of NIPS, pages 6000–6010.
5. Ceshine Lee Multilingual Similarity Search Using Pretrained Bidirectional LSTM Encoder. Evaluating LASER (Language-Agnostic SEntence Representations)/ <https://medium.com/the-artificial-impostor/multilingual-similarity-search-using-pretrained-bidirectional-lstm-encoder-e34fac5958b0>.
6. Zero-shot transfer across 93 languages: Open-sourcing enhanced LASER library. POSTED ON JAN 22, 2019 TO AI RESEARCH/ <https://engineering.fb.com/ai-research/laser-multilingual-sentence-embeddings/>.
7. Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. arXiv:1810.04805v2 [cs.CL] 24 May 2019.
8. Join GitHub today, available at: <https://github.com/google-research/bert>.
9. Ceshine Lee News Topic Similarity Measure using Pretrained BERT Model. Utilizing Next Sentence Predictions, available at: <https://medium.com/the-artificial-impostor/news-topic-similarity-measure-using-pretrained-bert-model-1dbfe6a66f1d>.
10. Jay Alamar The Illustrated BERT, ELMo, and co. (How NLP Cracked Transfer Learning), available at: <http://jalamar.github.io/illustrated-bert>.
11. available at: <https://github.com/CyberZHG/keras-bert>.
12. available at: <https://bert-as-service.readthedocs.io>.
13. Using NLP to Automate Customer Support, Part Two, available at: <https://blog.floydhub.com/automate-customer-support-part-two>.
14. available at: <https://github.com/facebookresearch/SentEval>.
15. Sam Sucik Compressing BERT for faster prediction, available at: <https://blog.rasa.com/compressing-bert-for-faster-prediction-2>.

Received (надійшла) 19.05.2020

Accepted for publication (прийнята до друку) 22.07.2020

### Дослідження можливостей багатомовної моделі BERT для визначення семантичної подібності новинного контенту

С. А. Олізаренко, В. В. Аргунов

**Анотація.** Мета статті – провести дослідження більш ефективного способу визначення семантичної подібності багатомовного вмісту новин на основі вбудовування речень за допомогою першого завдання попередньо навченої багатомовної моделі BERT. **Результати.** В роботі представлені результати впровадження сучасних досягнень в області обробки природної мови на основі методів і моделей технологій глибокого навчання в систему управління новинним контентом HIPSTO (HIPSTO Publishing, AI Technology, Digital Media, Mobile Apps). Досліджено можливості та способи застосування багатомовної моделі BERT для вирішення проблеми семантичної подібності новинного контенту. Зокрема, пропонується ефективний метод визначення семантичної подібності багатомовного новинного контенту в агрегованих новинних стрічках HIPSTO. Даний підхід заснований на використанні в системі управління новинним контентом HIPSTO векторних уявлень речень з використанням першого завдання попередньо навченої багатомовної моделі BERT. Результати досліджень, представлених в роботі, підкреслюють ефективність розвитку даної технології в рамках проекту HIPSTO. Подальший викладення матеріалу надає науково-експериментальне обґрунтування отриманих результатів, що мають вже практичну реалізацію в перших версіях HIPSTO.

**Ключові слова:** обробка природної мови; BERT; семантична подібність; новинний контент, глибоке навчання.

С. Ф. Чалий, В. О. Лещинський, І. О. Лещинська

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОБУДОВИ ПОЯСНЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ТЕМПОРАЛЬНИХ ЗМІН У ВИМОГАХ КОРИСТУВАЧІВ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є процеси формування пояснень для персоналізованих рекомендацій щодо вибору товарів та послуг в рекомендаційних системах. **Метою** є розробка інформаційної технології побудови деталізованих пояснень щодо запропонованого персонального переліку предметів в рекомендаційній системі з урахуванням темпоральних змін у вимогах споживачів для підвищення ефективності продажів товарів та послуг в системах електронної комерції. **Завдання:** розробка підходу до побудови темпоральних правил для формування пояснення на основі порівняння кількості продажів на послідовності інтервалів часу; розробка технології побудови темпорально-орієнтованих пояснень щодо рекомендацій з вибору предметів в рекомендаційних системах. Використовуваними **підходами** є: підходи до побудови пояснень щодо рекомендацій з урахуванням змін уподобань користувачів з часом. Отримані наступні **результати.** Розроблено підхід до побудови темпоральних правил, що визначають темпоральну динаміку вподобань користувачів рекомендаційної системи. З використанням темпоральних правил розроблено технологію побудови та деталізації пояснень, що враховують зміни вимог користувачів з часом. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному. Запропоновано інформаційну технологію побудови деталізованих пояснень щодо рекомендацій з урахуванням змін вимог користувачів з часом. Технологія використовує моделі темпоральних правил та темпоральну модель інтерфейсу пояснень. Технологія передбачає послідовну побудову базових пояснень з урахуванням темпоральної динаміки вподобань користувачів, подальшу деталізацію пояснень по інтервалах часу на основі узгодження темпоральних знань, а також формування інтерфейсу деталізованих пояснень з відображенням базових змін уподобань користувачів та альтернативних змін на визначених інтервалах часу. У практичному плані технологія орієнтована на підвищення довіри споживача до отриманої рекомендації на основі відображення збільшення попиту на рекомендовані товари. Використання технології забезпечує формування для користувача раціонального підтвердження рекомендації у вигляді комбінації кількісних та якісних показників, що сприяє збільшенню продажів у відповідній системі електронної комерції.

**Ключові слова:** рекомендаційні системи, пояснення, формування рекомендацій, формування пояснень, критерії оцінки пояснень, темпоральні правила.

### Вступ

Рекомендаційні системи надають персональний перелік товарів та послуг, що відповідає інтересам споживача та має підвищити продажі цих предметів. Такі системи зазвичай використовуються у складі систем електронної комерції. Рекомендації формуються з урахуванням схожості характеристик предметів, або ж подібності поведінки споживачів. Подібність поведінки споживачів визначається на основі явного та неявного зворотного зв'язку. Перший представлений рейтингами товарів та послуг, які надає користувач. Він відображає суб'єктивне ставлення користувача до рекомендованих предметів. Неявний зв'язок відображений покупками предметів та об'єктивно характеризує потреби споживача [1].

Сучасні алгоритми формування рекомендацій досить ефективно передбачають вимоги користувача на основі аналізу даних про покупки та рейтинги [2]. Однак така інформація не завжди є доступною для нових користувачів [3], а також може бути спотвореною в результаті шилінг-атак, що призначені для штучного підвищення рейтингів цільових товарів [4].

В результатів рекомендації можуть не враховувати інтереси споживача, що зменшує довіру до рекомендаційної системи.

Тому для підвищення довіри користувача в останні роки рекомендації доповнюються поясненнями [5, 6]. Пояснення фактично розкриває причини рекомендації предмета конкретному користувачеві. Пояснення формується на основі знань про поведінку споживача або про зв'язок між характеристиками товарів та вибором користувача [7].

Пояснення є контекстно-орієнтованим. Одним із аспектів контексту є темпоральний аспект. В даному розрізі враховуються зміни вподобань користувачів з часом [8, 9]. Облік темпоральних змін дає можливість доповнити рекомендації та пояснення з урахуванням актуальних, самих останніх вимог користувача та використати пояснення в онлайн-режимі роботи рекомендаційної системи [10]. Зазначене свідчить про актуальність доповнення рекомендацій поясненнями, що враховують темпоральну динаміку вподобань споживача і, тим самим, мотивують його до покупок рекомендованих товарів та послуг.

Існуючі підходи до побудови пояснень щодо рекомендацій використовують методи формування витлумачень в експертних та прецедентних системах [11]. Знання для побудови пояснень можуть бути отримані автоматизованим способом. Для побудови пояснень на основі автоматизовано сформованих знань запропоновано використовувати регресійну модель [12].

Однак темпоральні аспекти в такій моделі не враховуються.

В роботах [3, 13] пропонується формувати рекомендації та пояснення до них з урахування темпоральної динаміки вподобань користувачів.

Інтегральне пояснення в роботі [14] формується з використанням темпоральних правил, що були запропоновані в роботі [15].

Деталізацію інтегрального пояснення з урахуванням зміни потреб користувачів з часом представлено в роботі [16].

Таке інтегральне пояснення може бути представлено з використанням моделі інтерактивного інтерфейсу з темпоральними параметрами, що була запропонована в роботі [17].

Однак розглянуті підходи, методи та моделі охоплюють лише окремі аспекти формування пояснень щодо рекомендацій з урахуванням темпоральної динаміки потреб користувачів. Задача розробки інформаційної технології побудови темпорально-орієнтованих пояснень, яка б інтегрувала весь процес формування тлумачень в рекомендаційних системах, потребує подальших досліджень

**Метою статті** є розробка інформаційної технології побудови деталізованих пояснень щодо запропонованого персонального переліку предметів в рекомендаційній системі з урахуванням темпоральних змін у вимогах споживачів для підвищення ефективності продажів товарів та послуг в системах електронної комерції.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення наступних задач:

- розробка підходу до побудови темпоральних правил для формування пояснення на основі порівняння продажів на послідовності інтервалів часу;

- розробка технології побудови темпорально-орієнтованих пояснень щодо рекомендованого переліку товарів та послуг в рекомендаційній системі.

### **Підхід до побудови темпоральних правил для пояснень в рекомендаційній системі**

Темпоральні правила [15] орієнтовані на підтримку управлінських рішень і тому задають порядок у часі для пар подій.

Однак при використанні таких правил для побудови пояснень ці правила мають бути адаптовані з урахуванням наступних особливостей процесу вибору користувачів:

- узагальнено вибір користувачів відбувається з прив'язкою не до конкретного моменту, а до інтервалу часу; наприклад, обчислюється кількість покупок певного предмету за день або за місяць;

- ваги темпоральних правил враховують зміни вподобань користувачів, що досягається обрахуванням змін у кількості проданих товарів та послуг (або зміни їх рейтингів).

Таким чином, темпоральні правила для побудови пояснень встановлюють залежності між парами інтервалів часу. Вага правил, що визначає їх важливість, обчислюється на основі змін у продажах або рейтингах між визначеними інтервалами

часу.

Послідовність формування темпоральних правил для побудови пояснень щодо рекомендацій містить у собі такі кроки:

Крок 1. Визначення рівня деталізації часу (година, день, місяць, тощо) для виділення темпоральних інтервалів.

Крок 2. Побудова темпоральних правил типів NeXt та Future [15] для усіх можливих пар попередніх та поточного інтервалу. В якості поточного виступає останній інтервал в рамках визначеного періоду часу.

Крок 3. Обчислення ваг темпоральних правил як різниці у продажах між поточним та усіма попередніми інтервалами з подальшою нормалізацією отриманих ваг. Нормалізація дає можливість порівнювати правила для різних періодів часу.

Отримані в результаті застосування даного підходу зважені темпоральні правила дають можливість сформувати кількісну оцінку темпоральної динаміки вподобань користувачів рекомендаційної системи.

### **Інформаційна технологія побудови темпорально-орієнтованих пояснень**

Розроблена технологія базується на використанні темпоральних правил, що формуються з урахуванням специфіки вибору користувача рекомендаційної системи згідно розглянутого в попередньому підрозділі підходу. Технологія передбачає побудову контекстних пояснень з використанням розширеного тлумачення контексту. Контекст визначає умови та обмеження вибору користувача рекомендаційної системи [18]. Розширене представлення контексту передбачає, що умови вибору споживача можуть бути визначені як на основі характеристик предметної області (статична складова), так і у темпоральному аспекті (динамічна складова).

Остання складова відображає зміни стану предметної області і, отже, дає можливість визначити актуальні значення параметрів контексту, які впливають на вибір користувача.

Окрім використання динамічної складової дає можливість використати узагальнену оцінку змін у вимогах споживача. Така узагальнена оцінка базується на зміні рейтингів або кількості покупок визначеного товару або послуги з часом. Використання динамічної складової дає можливість оперативно, в онлайн-режимі, відкоригувати рекомендації та пояснення до цих рекомендацій навіть в умовах неповноти інформації про контекст вибору споживача.

В цілому, в рамках розробленої технології, пояснення щодо вибору конкретного товару або послуги формуються на основі даних про попит користувачів на цей предмет.

Зміна попиту є об'єктивним фактором, оскільки споживачі «голосують» своїми грошима. На відміну від кількості продажів, рейтинги товарів або послуг можуть бути спотворені в результаті шилінг-атак [4].

В основі розробленої технології лежить ідея про те, що збільшення попиту на рекомендований предмет на поточному інтервалі часу підвищує довіру споживача до отриманої рекомендації. Така ідея широко використовується в рекомендаційних системах: окремі товари маркуються як найбільш популярні серед споживачів. Однак маркування популярності товарів не містить у собі темпоральну складову. Тобто такі товари могли користуватись широким попитом у минулому сезоні, однак у поточний момент часу вони не є актуальними. Тому пояснення, згідно запропонованої технології, має відображати зміни вподобань з часом. Збільшення попиту в поточний момент, що підтвердить популярність рекомендованого товару, пояснює причини відбору предмету до переліку рекомендованих. З іншого боку, у випадку зменшення поточного попиту, користувач може отримати додаткове пояснення щодо циклічності змін вподобань користувачів. Наприклад, попит зменшився на поточному тижні, оскільки на минулому тижні була проведена рекламна акція, що привела до локального збільшення продажів. Таке пояснення також визначає «чесність» роботи рекомендаційної системи і, відповідно, орієнтовано на збільшення довіри споживача.

Запропонована технологія містить у собі наступні фази:

Фаза 1. Формування інтерактивного інтерфейсу представлення пояснень.

Фаза 2. Формування темпоральних правил, що задають знання щодо змін попиту користувачів з часом.

Фаза 3. Побудова пояснення з урахуванням темпоральної динаміки вподобань користувачів.

Фаза 4. Деталізація пояснень з урахуванням циклічних та еволюційних змін попиту споживачів.

Фаза 5. Коригування пояснень користувачем з урахування динамічної складової контексту.

На першій фазі в рамках інтерактивного інтерфейсу [17] визначаються період та рівень деталізації часу для пояснення. Або ж ці дані формуються за замовчуванням на основі конфігураційних даних.

На другій фазі формуються темпоральні правила згідно розглянутого в попередньому підрозділі підходу.

На третій фазі з використанням методу [14] формується базове пояснення, що враховує темпоральну динаміку вподобань користувачів рекомендаційної системи.

Темпоральна динаміка задається на послідовності інтервалів  $\Delta\tau_j$  в рамках визначеного періоду часу  $T$ :

$$T = \langle \Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \dots, \Delta\tau_j, \dots, \Delta\tau_{|T|} : (\forall \tau_j \in \Delta\tau_j, \forall \tau_{j+1} \in \Delta\tau_{j+1}) \tau_j < \tau_{j+1} \rangle. \quad (1)$$

Такі інтервали визначаються згідно заданого рівня грануляції часу, наприклад, день, тиждень, місяць, тощо.

Зміна вподобань  $g_{i,j}$  користувачів щодо  $i$  – предмету для послідовності попередніх інтервалів у порівнянні з поточним інтервалом  $\Delta\tau_{|T|}$  визначається як сума ваг темпоральних правил, що описують можливі темпоральні зв'язки між інтервалами  $\Delta\tau_j \in T$  та поточним інтервалом  $\Delta\tau_{|T|}$ :

$$g_{i,j} = \sum_{j:\Delta\tau_j \in T_j} w_{i,j}, \quad (2)$$

де  $w_{i,j}$  – нормалізована вага темпорального правила, що пов'язує інтервал  $\Delta\tau_j$  із інтервалом  $\Delta\tau_{|T|}$ .

Темпоральна динаміка вподобань користувачів  $G_i$  щодо  $i$  – предмету відображається упорядкованою у часі послідовністю значень  $g_{i,j}$  на інтервалах  $\Delta\tau_j$ :

$$G_i = \langle g_{i,1}, g_{i,2}, \dots, g_{i,j}, \dots, g_{i,|G|} : \Delta\tau_j = [\tau_j, \tau_{j+1}) \rangle. \quad (3)$$

Результатом даної фази є пояснення  $E$  у вигляді числового значення змін у попиті на визначений товар за умови, що ці зміни є позитивними, тобто має місце збільшення попиту на поточному інтервалі порівняно з попередніми інтервалами в рамках періоду часу:

$$E = \sum_{j=1}^{|G|} g_{i,j} | E > 0. \quad (4)$$

На четвертій фазі при побудові пояснення враховується нестійкий попит на цільовий предмет. При циклічних змінах попиту на товар або послугу пояснення  $E$  може бути негативним. Для того, щоб воно могло задовільнити споживача, базове пояснення доповнюється альтернативним деталізованим поясненням, яке відображає вплив зовнішніх факторів на вибір користувача. На даній фазі використовується метод деталізації пояснень [16].

Згідно даного методу при деталізації пояснень виконується узгодження знань у темпоральному аспекті. Темпорально узгоджені знання відображають однотипні зміни попиту споживачів. Для узгодження використовується відношення пояснення.

Якщо знання відповідають цьому відношенню, то вони є узгодженими. Тобто якщо пояснення показує збільшення попиту на товар або послугу, то узгодженими будуть темпоральні правила, які теж відображають збільшення попиту.

За результатами узгодження із повної множини темпоральних правил  $E$  виділяють підмножину неузгоджених знань  $E^-$ . За допомогою цих знань формується альтернативне пояснення, яке вказує на зміни попиту на предмет для визначених інтервалів часу.

Узгоджені правила  $E^+$  відповідають відношенню пояснення [16]:

$$E_i^+ = \{g_{i,j} : \forall j g_{i,j} \text{ Expl } E\} \quad (5)$$

Оскільки пояснення деталізується лише у випадку зменшення попиту, то відбір неузгоджених правил відбувається за критерієм:

$$E^- = \sum_{j=1}^{|G|} g_{i,j} : g_{i,j} > 0 | E < 0 \quad (6)$$

На основі неузгоджених правил формується деталізоване пояснення для окремих інтервалів з  $g_{i,j} > 0$ . Така деталізація показує збільшення попиту на товар у попередні періоди.

На п'ятій фазі використовуються інтерактивні властивості інтерфейсу пояснень [17]. В залежності від представлених значень основного та альтернативного, тобто деталізованого пояснення виконується уточнення темпоральних параметрів. Після уточнення реалізується третя фаза технології. У випадку достатньої деталізації пояснень дана фаза не виконується та реалізація технології завершується.

Розглянута технологія формування пояснень може бути інтегрована із існуючими підходами до побудови пояснень на основі розподілу рейтингів користувачів.

Розподіл рейтингів відображає явні вподобання споживачів без урахування фінансової складової. Тобто схожі рейтинги можуть бути виставлені аналогічним товарам з різними властивостями лише тому, що ці товари мають різну вартість і своє коло користувачів.

З іншого боку, темпоральне пояснення визначає об'єктивну потребу споживачів у рекомендованому товарі або послугі, а також зміну цієї потреби з часом.

## Висновки

Запропоновано інформаційну технологію побудови деталізованих пояснень щодо рекомендацій з урахуванням змін потреб користувачів з часом.

Технологія використовує адаптовані моделі темпоральних правил, а також модель інтерфейсу пояснень з темпоральними параметрами.

Адаптовані темпоральні правила мають вагу, яка обчислюється на основі різниці продажів на визначених інтервалах в рамках заданого періоду часу, що дає можливість врахувати зміни інтересів споживачів з часом.

Модель інтерфейсу пояснень відображає темпоральну динаміку вподобань користувачів на основі комбінації кількісних та якісних показників змін продажів предметів з можливістю ітеративного визначення періоду часу для обчислення цих показників.

Технологія містить фази побудови пояснень з урахуванням темпоральної динаміки вподобань користувачів, деталізації пояснень на основі узгодження темпоральних знань, а також уточнення даних для інтерфейсу пояснень з відображенням темпоральних змін у виборі споживачів.

Принципова відмінність розробленої технології від існуючих підходів до побудови пояснень полягає у врахуванні циклічних коливань уподобань користувачів, а також еволюційних змін у вимогах споживачів в результаті впливу зовнішніх факторів (сезонні зміни, переміна місця роботи, освіти, тощо).

Обмеження технології пов'язані із вимогами відображення часу у вхідних даних або упорядкування таких даних у часовому вимірі, що є необхідною умовою для побудови темпоральних правил.

У практичному аспекті технологія забезпечує можливість для підвищення довіри споживача до отриманого рекомендованого переліку товарів та послуг, оскільки дає можливість відобразити динаміку попиту на рекомендовані товари.

Тим самим, використання технології забезпечує для користувача раціональне підтвердження рекомендації і, як наслідок, сприяє збільшенню продажів в системі електронної комерції.

## REFERENCES

- Izquierdo-Castillo, J. (2015). The new media business concept led by Netflix: A study of the model and its projection into the Spanish market. *El Profesional de la Informacion*, 24 (6), 819-826. doi: 10.3145/epi.2015.nov.14. Available at: <https://recyt.fecyt.es/index.php/EPI/article/view/epi.2015.nov.14>.
- Farani K., Aghoutane B., Riffi J., Abdelouahed S. (2020). Comparative Study on Approaches of Recommendation Systems. *Embedded Systems and Artificial Intelligence*, 753-764. doi: 10.23919/AEIT.2018.8577311. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/340497029\\_Comparative\\_Study\\_on\\_Approaches\\_of\\_Recommendation\\_System](https://www.researchgate.net/publication/340497029_Comparative_Study_on_Approaches_of_Recommendation_System)
- Chalyi, S., Leshchynskyi, V., Leshchynska, I. (2019). Method of forming recommendations using temporal constraints in a situation of cyclic cold start of the recommender system. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 34-40. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00952>. Available at: <http://eu-jr.eu/engineering/article/view/952/934>.
- Chala, O., Novikova, L., Chernyshova, L. (2019). Method for detecting shilling attacks in e-commerce systems using weighted temporal rules. *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, 29-36. doi: 10.21303/2461-4262.2019.00983 <http://eu-jr.eu/engineering/article/view/983/966>. Available at: <http://eu-jr.eu/engineering/article/view/983/966>.
- Lops P., Jannach D., Musto C., Bogers T., Koolen M. (2019). Trends in content-based recommendation. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 29, 239-249. doi: <https://doi.org/10.1007/s11257-019-09231-w>. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11257-019-09231-w>.
- Tsai C., Brusilovsky P. (2019). Explaining recommendations in an interactive hybrid social recommender. *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '19)*, 391-396. doi: 10.1145/3301275.3302318. Available at: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3301275.3302318>.
- Dominguez V., Messina P., Donoso-Guzmán I., Parra D. (2019). The effect of explanations and algorithmic accuracy on visual recommender systems of artistic images. *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User In-*



- terfaces (IUI '19), 408-416. doi: <https://doi.org/10.1145/3301275.3302274>. Available at: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3301275.3302274>.
8. Rana, K., Jain, C.S. (2015). A study of the dynamic features of recommender systems. *Artificial Intelligence Review*, 43(1), 141-153. doi: <https://doi.org/10.1007/s10462-012-9359-6>. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-012-9359-6>.
  9. Zhou X., Sun Z., Guo G., Liu Y. (2020). Modelling Temporal Dynamics and Repeated Behaviors for Recommendation. 24th Pacific-Asia Conference Advances in Knowledge Discovery and Data Mining (PAKDD 2020), 12084, 181-193. doi: 10.1007/978-3-030-47426-3\_15. Available at: [https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-47426-3\\_15.pdf](https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-030-47426-3_15.pdf)
  10. Liu D., Chen K., Chou Y., Lee J. (2018). Online Recommendations based on Dynamic Adjustment of Recommendation Lists. *Knowledge-Based Systems*, 161, 375-389. doi: 10.1016/j.knosys.2018.07.038. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950705118303915>.
  11. Cunningham, P., Doyle, D., Loughrey, J. (2003) An Evaluation of the Usefulness of Case-Based Reasoning Explanation. In: *Case-Based Reasoning Research and Development: Proceedings ICCBR*. Number 2689 in LNAI, Trondheim, Springer, pp. 122–130.
  12. Cleger S., Fernandez-Luna J., F Huete J. (2014). Learning from explanations in recommender systems. *Information Sciences*, 287, pp.90–108. .
  13. Chalyi S., Leshchynskiy V., Leshchynska I. (2019). Моделювання пояснень щодо рекомендованого переліку об'єктів з урахуванням темпорального аспекту вибору користувача. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 6 (58), 97-101. – doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.6.097>.
  14. Chalyi, S., Leshchynskiy, V. (2020). Method of constructing explanations for recommender systems based on the temporal dynamics of user preferences. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3, 43-50. doi: 10.21303/2461-4262.2020.001228. Available at: <http://journal.eu-jr.eu/engineering/article/view/14>.
  15. Levykin V., Chala O. (2018). Development of a method for the probabilistic inference of sequences of a business process activities to support the business process management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5/3(95), 16-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.142664.
  16. Chalyi S., Leshchynskiy V., Leshchynska I. (2020). Detailing explanations in the recommender system based on matching temporal knowledge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/2 (106), 6-13. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210013
  17. Чалий С.Ф., Лещинський В.О., Лещинська І.О. (2020). Модель інтерфейсу пояснень з темпоральними параметрами в рекомендаційній системі. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2(60), 105-109. DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.2.105>
  18. Чалий С.Ф., Лещинський В.О., Лещинська І.О. (2018). Моделювання контексту в рекомендаційних системах. *Проблеми інформаційних технологій*, 1(023), 21-26.

Received (Надійшла) 22.07.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 02.09.2020

### Information technology of construction of explanations considering temporal changes in requirements of the recommender system's users

S. Chalyi, V. Leshchynskiy, I. Leshchynska

**Abstract.** The **subject matter** of the article is the processes of forming explanations for personalized recommendations for the choice of goods and services in recommendation systems. The **goal** is to develop an information technology for constructing detailed explanations regarding the proposed personal list of items in a recommendation system, taking into account temporal changes in consumer requirements to improve the efficiency of sales of goods and services in e-commerce systems. **Tasks:** development of an approach to the construction of temporal rules for the formation of an explanation based on the comparison of the number of sales on a sequence of time intervals; development of technology for constructing temporally oriented explanations regarding recommendations for choosing subjects in e-commerce systems. The **approaches** used are: approaches to constructing explanations regarding recommendations, taking into account changes in user preferences over time. The following **results** were obtained. An approach to the construction of temporal rules that determine the temporal dynamics of the preferences of the users of the recommender system has been developed. Using temporal rules, a technology for constructing and detailing explanations has been developed, taking into account changes in user requirements over time. **Conclusions.** The scientific novelty of the results obtained is as follows. An information technology is proposed for constructing detailed explanations regarding recommendations taking into account changes in user requirements over time. The technology uses temporal rule models and a temporal explanation interface model. The technology provides for the sequential construction of basic explanations taking into account the temporal dynamics of user preferences, further detailing of explanations by time intervals based on the coordination of temporal knowledge, as well as the formation of an interface of detailed explanations with the display of basic changes in user preferences and alternative changes at separate time intervals. In practical terms, the technology is focused on increasing consumer confidence in the received recommendation based on the reflection of changes in demand for the recommended products. The use of technology ensures the formation of a rational confirmation of the recommendation for the user in the form of a combination of quantitative and qualitative indicators, contributes to an increase in sales in the corresponding e-commerce system.

**Keywords:** recommender systems, explanation, formation of recommendations, formation of explanations, criteria for evaluating explanations, temporal rules.



Ye. Shcherbinina, B. Martseniuk, A. Filonenko

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

## DATABASE SECURITY AND STUDY OF DATA ENCRYPTION METHODS IN CLOUD STORAGE

**Abstract.** Purpose of the article is discusses the importance of database encryption and makes an in depth review of various encryption techniques. Security of Data is the most important task in today's world. Governments, companies and other organizations have lost a lot of money and many others have closed down due to the activities of dubious hackers and attackers. Over the years various encryption schemes have been developed in order to protect the database from various attacks by the intruders. As data is the life wire of every organization, there is the need to remotely and securely store the data generated daily by these organizations in order to enable them recover quickly in the event of attack and hack. Cloud storage is needed here for the remote data storage. For many establishments, data security is one of their major concern when sending their files into the cloud. They worry about their files being seen or even compromised by malicious and dubious people because that's what happened in the past. Data encryption techniques are required to protect the integrity of the stored data. In the past, many businesses felt comfortable allowing the cloud providers to manage all their data, believing that security risks could be managed through contracts, controls and audits. Over time it has become apparent, however, that cloud providers cannot honor such commitments when responding to government requests for information. This paper discusses, the importance of database encryption and makes an in depth review of various encryption techniques.

**Keywords:** Encryption, Cryptography, Hashing, Database, Cloud Storage, Cipher text.

### Introduction

In this age of technology, all our work is being done by the computers. From chatting with friends on social networking websites, to making online payments through Net Banking, everything is being done online through computers. Since these facilities are efficient and make our work easy we use them in one way or the other. This means to use these online services we are storing all our personal and sensitive data in the databases of these websites and applications, which indeed make this data prone to various security threats. So protection of this important user data is one of the major priority, in order to avoid any misuse of data [1].

Cloud Storage is a system whereby data is remotely stored, maintained, managed, and backed up. The service is available to users over a network, which is usually the internet. Important way of protecting this data is by encrypting the data being saved in the databases of these websites.

**What is the need of encrypting the data.** The need of encrypting the data before saving it in a database is that by restricting the access through authorization and authentication of data can help to a certain limit, but what if the intruder somehow gets to the database. He has all the data of database and can misuse it as he likes, here encryption of data before saving it in database comes into play. If the data is encrypted before saving it in the database, even with access to the database the intruder cannot misuse this data. So the **purpose** of the article is, discusses the importance of database encryption and makes an in depth review of various encryption techniques.

### Database encryption

Database Encryption is a process of encrypting the data in the database [2]. It is a key strategy to protect the contents of data within the database. The main idea behind this is that incase the intruder somehow is able to

get to the database of the system; due to encryption he should not be able to misuse the data in the database.

Fig. 1, shows basic working of the database encryption and decryption process. The plain text/data to be saved in the database is first converted into cipher text using an appropriate algorithm and a specific key. Then this cipher text is saved into the database. When the user wants to extract the data from the database, the cipher text is converted back to plain text using the decryption algorithm and the same key used in encryption. This will return the plain text to the user, when requested. Database Encryption can be done in two possible ways.

**Encryption:** It is a process in which plain text is converted to cipher text with help of key, and then using the same key we can decrypt the cipher text back to plain text [3]. Encryption is performed using various algorithms, with each algorithm having his own advantages and disadvantages. Most commonly used encryption algorithms are DES, RC2, AES128, AES 256 etc. Fig. 2, a shows working of simple encryption process.

**Hashing:** It is a one way process, in which plain text is converted into hashed value(encrypted form). Once the data is hashed using a Hash Function it cannot be changed back to plain Text [3]. Generally this approach is used for password encryption, whenever we need to login the password entered is encrypted using hash function and then matched with the password stored in the database which is already in encrypted form, if both matches the user get access else it gets the message of invalid username/password. Most commonly used Hash Functions are MD4, MD5, SHA, SHA-1 etc. Fig. 2, b shows working of hashing.

### Cloud data encryption

Cloud encryption is a service offered by cloud storage providers whereby data, or text, is transformed using encryption algorithms and is then placed on a storage cloud.

### Cloud data encryption methods

**Block Ciphers and Stream Ciphers.** One of the main categorization methods for encryption techniques commonly used is based on the form of the input data they operate on. The two types are Block Cipher and Stream Cipher. This section discusses the main features in the two types, operation mode, and compares between them in terms of security and performance.

**Block Cipher.** In this method ciphering, data is encrypted and decrypted if data is in form of blocks. In its simplest mode, you divide the plain text into blocks which are then fed into the cipher system to produce blocks of cipher text. ECB(Electronic Codebook Mode) is the basic form of block cipher where data blocks are encrypted directly to generate its correspondent ciphered blocks.

**Stream Ciphers.** Stream cipher functions on a stream of data by operating on it bit by bit. Stream cipher consists of two major components: a key stream generator, and a mixing function. Mixing function is usually just an XOR function, while key stream generator is the main unit in stream cipher encryption technique. For example, if the key stream generator produces a series of zeros, the outputted ciphered stream will be identical to the original plain text.

**Symmetric and Asymmetric encryptions.** Data encryption procedures are mainly categorized into two categories depending on the type of security keys used to encrypt/decrypt the secured data. These two categories are: Asymmetric and Symmetric encryption techniques.

**Symmetric Encryption.** In this type of encryption, the sender and the receiver agree on a secret (shared) key. Then they use this secret key to encrypt and decrypt their sent messages. Fig. 3, a shows the process of symmetric cryptography. Node A and B first agree on the encryption technique to be used in encryption and decryption of communicated data. Then they agree on the secret key that both of them will use in this connection. After the encryption setup finishes, node A starts sending its data encrypted with the shared key, on the other side node B uses the same key to decrypt the encrypted messages.

The main concern behind symmetric encryption is how to share the secret key securely between the two peers. If the key gets known for any reason, the whole system collapses. The key management for this type of encryption is troublesome, especially if a unique secret key is used for each peer-to-peer connection, then the total number of secret keys to be saved and managed for n-nodes will be  $n(n-1)/2$ .

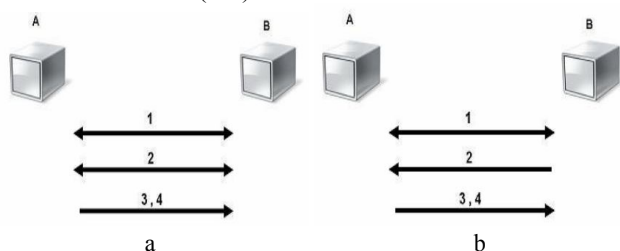


Fig. 4. Symmetric (a) & Asymmetric (b) Encryption

**Asymmetric Encryption.** It is also known as Public Key Cryptography (PKC), because users tend to use two

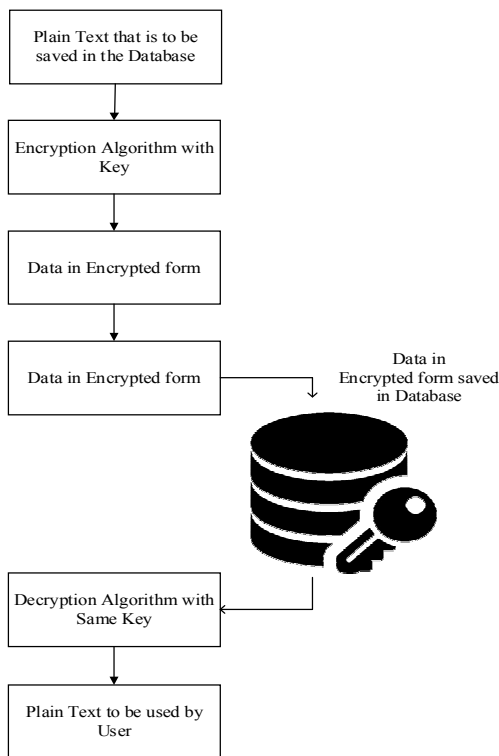


Fig. 1. Database Encryption and Decryption Process

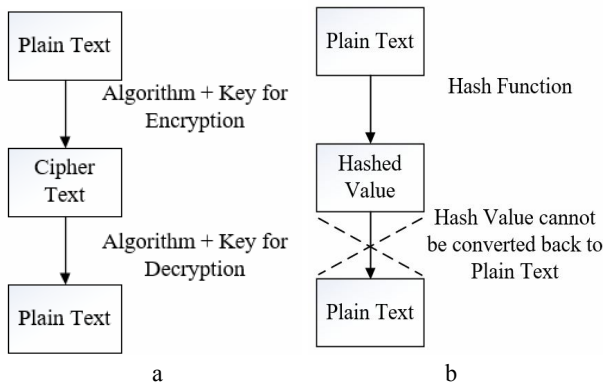


Fig. 2. Working of Encryption (a) & Hashing (b) Process

It is the transformation of a cloud service customer's data into cipher text. Cloud encryption is almost identical to in-house encryption with one important difference -- the cloud customer must take time to learn about the provider's policies and procedures for encryption and encryption key management. The cloud encryption capabilities of the service provider need to match the level of sensitivity of the data being hosted. Because encryption consumes more processor overhead, many cloud providers will only offer basic encryption on a few database fields, such as passwords and account numbers [4]. At this point in time, having the provider encrypt a customer's entire database can become so expensive that it may make more sense to store the data in-house or encrypt the data before sending it to the cloud. To keep costs low, some cloud providers have been offering alternatives to encryption that don't require as much processing power. These techniques include redacting or obfuscating data that needs to remain confidential or the use of proprietary encryption algorithms created by the vendor [5].

keys: public key, which is known to the public, and private key which is known only to the user. Fig. 3, b below illustrates the use of the two keys between node A and node B. After agreeing on the type of encryption to be used in the connection, node B sends its public key to node A. Node A uses the received public key to encrypt its messages. Then when the encrypted messages arrive, node B uses its private key to decrypt them.

This capability surmounts the symmetric encryption problem of managing secret keys. But on the other hand, this unique feature of public key encryption makes it mathematically more prone to attacks. Moreover, asymmetric encryption techniques are almost 1000 times slower than symmetric techniques, because they require more computational processing power. To get the benefits of both methods, a hybrid technique is usually used. In this technique, asymmetric encryption is used to exchange the secret key, symmetric encryption is then used to transfer data between sender and receiver [6].

For example, in an open system, given any two principals X and Y, X should be able to encrypt a message that can only be decrypted by Y. If there is some binding established between principal identities and public keys, then these operations can easily be performed. A naive scheme might function as follows: principal X looks up public key  $K_y$  for principal Y and uses it to compute an encryption for Y using some trapdoor function  $c = f_{KY}(m)$ ; then Y, on receipt of this message computes  $f^{-1}k_y(c) = m$ .

But there's a significant problem with this scheme given our definitions of security for shared-key encryption: it doesn't satisfy Semantic Security, since it's trivial for an adversary to compute  $f_{K_y}(m)$  and  $f_{K_y}(m')$  and compare them against given

ciphertexts in the different attack models. Once again we see that there is no Semantic Security without probabilistic encryption. This is especially true in the public-key setting, since every principal has access to an encryption function for every other principal, by definition. Especially when the space of possible messages is small, it is easy to simply check all messages under the encryption function to figure out what has been encrypted.

## Conclusions

With advancement in Technology, nowadays everything is being done with computers, so security of these data in the database becomes an important issue. Many researchers have worked on this thing and proposed various algorithms and architectures. Each scheme has its own advantages and disadvantages. But none of them is fully secure, and contain certain loopholes or demerits with can be used by the attackers and the intruders to get access of the database. So there is a scope of improvement in this area.

Many research problems are yet to be identified. Cryptographic techniques are used to provide secure communication between the user and the cloud. Symmetric encryption has the speed and computational efficiency to handle encryption of large volumes of data in cloud storage. This paper proposed a symmetric encryption algorithm for secure storage of cloud user data in cloud storage. The proposed encryption algorithm is described in detail and the decryption process is reverse of the encryption. This algorithm is used in order to encrypt the data of the user in the cloud. Since the user has no control over the data once their session is logged out, the encryption key acts as the primary authentication for the user.

## REFERENCES

1. Baraani-Dastjerdi, Ahmad, Josef Pieprzyk, and Reihaneh Safavi-Naini. "Security in databases: A survey study." Department of Computer Science, The University of Wollongong (1996).
2. Denny Cherry and Thomas Larock, "2 - Database Encryption, In Securing SQL Server", edited by Denny Cherry, Thomas Larock, Syngress, Boston, 2011, Pages 27-71, ISBN : 9781597496254.
3. Kessler, Gary C. "An overview of Cryptography." (2003). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781597496254100022>.
4. Vamsee Krishna, Yarlagadda And Sriram Ramanujam, —Data Security in Cloud Computing, Journal of Computer and Mathematical Sciences, Vol.2 (1), pp 15-23, 2011.
5. Peter Mell, Tim Grance, —Effectively and Securely Using the Cloud Computing Paradigm, NIST, Information Technology Laboratory, <http://www.csrc.nist.gov/groups/SNS/cloud-computing/cloudcomputingv26.ppt>. 2009.
6. Eman M.Mohamed, Hatem S.Abdelkader and Sherif El-Etriby, —Data Security Model for Cloud Computing, The Twelfth International Conference on Networks, ISBN: 978-1-61208-245-5, pp 66-74, 2013.

Received (Надійшла) 30.07.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 09.09.2020

## Безпека бази даних і вивчення методів шифрування даних в хмарному сховищі

Є. М. Щербініна, Б. В. Марценюк, А. М. Філоненко

**Анотація.** Мета статті – об'єктивно проаналізувати питання щодо важливості шифрування бази даних та зробити глибокий огляд різних методів шифрування. Безпека даних - найважливіше завдання в сучасному світі. Влада, компанії та інші організації втратили багато грошей, а багато інших закрилися, через діяльність хакерів і зловмисників. За минулі роки були розроблені різні схеми шифрування для захисту бази даних від атак зловмисників. Оскільки дані - це життєвий канал кожної організації, існує потреба в безпечному зберіганні даних, щодня генерованих цими організаціями. Хмарне сховище необхідно для віддаленого зберігання даних. Для багатьох підприємств безпека даних є однією з основних проблем при відправці файлів в хмару. Вони турбуються про те, що їх файли будуть переглянуті або навіть скомпрометовані. Для захисту цілісності даних, що зберігаються, необхідні методи шифрування даних. У минулому багато компаній відчували себе комфортно, дозволяючи постачальникам хмарних послуг управляти всіма своїми даними, вважаючи, що ризиками безпеки можна керувати за допомогою контрактів, засобів контролю і аудиту. Однак з часом стало очевидно, що постачальники хмарних послуг не можуть виконувати такі зобов'язання. У цьому документі обговорюється важливість шифрування бази даних і дається детальний огляд різних методів шифрування.

**Ключові слова:** шифрування, криптографія, хешування, база даних, хмарне сховище, зашифрований текст.

A. Yanko, I. Fil

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

## THE TASK OF CHOOSING A RELIABLE PATH FOR MESSAGE TRANSMISSION IN A COMPUTER NETWORK

**Abstract.** The article provides a calculation and comparative analysis of the reliability and productivity of computer systems in a positional binary number system and in a non-positional number system in residual classes (residual number system – RNS), for calculations and comparative we consider practical task. The main goal is to solve the task of choosing a reliable path for message transmission in a computer network. Calculation and comparative evaluation of the reliability and performance of the computer system in the RNS and the existing in the positional binary number system computer system APO-221 of the product 15E1235 (automatic message switching center - ASC) when solving the basic task of the ASC – the task of choosing the transmission path of a formalized message (path selection algorithm (PSA)).

**Keywords:** automatic switching center, computer system, computer systems and components of fast processing of integer data, data transmission systems, path selection algorithm, positional number systems.

### Introduction

The increasing requirements for modern computer systems and components of fast processing of integer data (CSCPID) necessitate the constant search, development and implementation of methods for fast data processing. It should be noted that, despite the intensive development of modern information technologies used to create hardware and software tools of CSCPIDs, there are still many unsolved scientific and technical problems and problems in this area. First of all, this is due to the following circumstances:

- high requirements, at the same time, as to the performance of data processing, and to the reliability of the operation of CSCPIDs, operating in real time;
- the limited capabilities of modern CSCPIDs to carry out in real time simultaneously highly reliable and high-speed parallel implementation of the computational process.

Meeting the above requirements and eliminating these shortcomings is difficult on the basis of well-known, developed and tested methods of data processing based on the use of binary positional number systems (PNS) [1].

**Analysis of literature.** The first in the USSR who drew attention to a new machine arithmetic called residual number system (RNS) was Fedor Viktorovich Lukin at the end of the 50s. Vilzhan Mavlyutinovich Amerbayev, a doctor of technical sciences, professor, academician of the National Academy of Sciences of Kazakhstan, one of the leading theorists in the field of RNS, and active participants in its practical application said: "Israel Yakovlevich Akushsky told me that he received the first information on the RNS from F. V. Lukin as a closed report of work in the United States. According to Israel Yakovlevich, Fyodor Viktorovich considered RNS to be a very promising direction in the development of computing technology." His subsequent actions confirm this – it was precisely through the efforts of F. V. Lukin that the system of residual classes received such rapid and successful development in the country, and his departure from life coincides with the beginning of the decline in its development [2]. Comparing fragmentary information from different sources, it is possi-

ble to reconstruct this story as follows. The first thought about the possibility of using RNS in computing technology in 1955 in a brief article was expressed by the Czechoslovak engineer M. Valah, he was actively supported by the mathematician A. Svoboda. They became the pioneers of RNS. The Americans became interested in their work, and close cooperation ensued, as a result of which, a few years later, Svoboda and Valakh moved to the USA, where work on the system of residual classes was expanded on a broad front [1].

### Main material

In existing data transmission systems (DTS) there is a computer system (CS) in the control loop. The result of the analysis of the operation of technical systems and real-time information processing tools showed that in most cases the efficiency of using the entire DTS as a whole depends on the performance of the data processing of the CS. Obviously, one of the most important characteristics of specialized CS is its performance. CS performance is determined by the amount of computing work per unit of time.

To conduct a comparative assessment, we calculate the performance of the CS in the RNS and the existing in the PNS CS APO-221 of the product 15E1235 – automatic message switching system. In turn, the product 15E1235 is part of the 15E1142 system, an automatic switching center (ASC), which performs the function of automated exchange of control information between data sources and consumers located at command posts, headquarters, and other special-purpose facilities. The main, basic task of the message switching process is the task of choosing the transmission path of a formalized message (path selection algorithm (PSA)). In the future, by the standard task we will understand the task of implementing PSAs. We will determine the CS performance when solving the standard task of implementing PSAs between two CS subscribers.

Let us conduct a quantitative assessment of the productivity  $\Pi$  of the CS APO-221. In this case, by productivity  $\Pi$  we mean the number of standard PSA tasks per unit time in normal operation, i.e.:

$$\Pi = 1/T_s ; \quad (1)$$

where  $T_s = T_{in}(1-\varepsilon_1) + T_{solv} + T_{ex} + T_c + T_{maint} + T_{out}(1-\varepsilon_2)$  – PSA standard problem solving time;  $T_{in}$  – input time;  $T_{solv}$  – direct problem solving time;  $T_{ex}$  – time spent exchanging information with RAM;  $T_c$  – the time of monitoring the functioning of the CSCPID using tests conducted in the process of solving the problem;  $T_{maint}$  – time spent on preventive maintenance, troubleshooting and troubleshooting, reduced to a single solution to the problem;  $T_{out}$  – output time;  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  – the coefficients of combining, respectively, input and output information with the process of solving the problem ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \leq 1$ ).

Note that for a CS in a RNS, the time  $T_{in.RNS}$  of inputting the initial information and the time  $T_{out.RNS}$  of outputting the results of solving the problem are determined by the corresponding expressions

$$T_{in.RNS} = T_{in} + T_{conv1}, T_{out.RNS} = T_{out} + T_{conv2},$$

where  $T_{conv1}$  – operands conversion time from PNS to RNS,  $T_{conv2}$  – operands conversion time from RNS to PNS. In this case, the input / output time of information for the CS in the RNS is slightly longer than for PR-009 in the PNS due to the need to convert the operands from the PNS to the RNS and vice versa. The research results showed that the following condition is fulfilled for the tabular principle of data processing:  $T_{conv1} + T_{conv2} \leq 1$ , in relative temporary arbitrary units (conventional units). This circumstance was subsequently taken into account when determining the time for the implementation of PSAs in RNS. Specialized CS APO-221 of the product 15E1235 of the system 15E1142 consists of two processors PR-009, as well as from the command memory, data memory and input-output channel. The PR-009 processor implements a set of instructions (arithmetic, logical, transition, exchange, etc.) through four-byte ( $l = 4$ ) bit words. To improve the speed of solving the problem in PR-009, a combination mode is used, in which the selection of the next command from the command memory begins until the previous command is completed. In the product 15E1235, it is assumed that  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,2$ .

The main time characteristics in arbitrary units of the product 15E1235 and PR-009 of the system 15E1142 are given in table 1.

Computing system CS APO-221 was created according to the reliable scheme of hot standby. If both PR-009 processors are operational, then the processing of current information is provided by one processor ("master"), and the second ("slave") is a hot reserve. The assignment of the processor to the "master" is carried out by software. Failure in the first and second PR-009 leads to the failure of the product 15E1235 and the system 15E1142 as a whole [3].

The process of functioning of the product 15E1235 is provided by software and hardware. The main mode of operation of this product is message switching. The task of PSAs belongs to the class of modern decentralized and adaptive control algorithms solved by means of CS DTS. Table 2 shows: the stages of PSA implementation, the set of operations that implements this stage of PSA calculations, as well as the frequency of implementation of standard operations in PR-009. Briefly describe the implemented PSA. The essence of the PSA is to determine the optimal way to bring the message from the source of information to the data consumer in the specialized system 15E599 of the DTS information and settlement system "Yarus". Information for solving the PSA algorithm is stored in the 15E1142 system in a matrix M consisting of two adjacency matrices: telephone and telegraph. When choosing a path, binary operations on integer numbers of rows of these matrices are used [4-7].

The number of rows and columns in these matrices is equal to the number of ASCs. The PSA algorithm consists of four main branches: transmission of a message along the route; path selection using the matrix  $M_f$  (telephone network); path selection using the  $M_g$  matrix (telegraph network); sending a message to the operator. If the value of the transmission variant corresponds to the transmission variant along the route, the first branch is connected.

The choice of the way when the PSA operates on the second and third branches is based on global information on the structure of the telecommunication network and local information on the queues and network load. For a given ASC, for each message, the path is selected sequentially, starting with the shortest paths, thereby determining the set  $U_s$  of transit ASCs on the path to the desired ASC of the recipient with a deviation  $S$  from the shortest path.

Table 1 – Main characteristics of the product 15E1142

No.	Product, syst. (unit)	Type of operation	Time [conv. units]
1	RAM-094	Access cycle	3
	(RAM-095)	Sampling time	0,6
2	ROM-098	Access cycle	3
3	PR-009	Information I / O time	6
		Test time	1
		Average time of addition (subtraction) operation in combination mode	7
		Average runtime of an addition (subtraction) operation in normal mode	20
		Average runtime of a multiplication operation	200
4	15E1235	Time spent on preventive maintenance, troubleshooting, and elimination, resulting in a one-time solution to the PSA problem	0,5 hours
5	15E1235	Command memory capacity	256 kbyte
		Data memory capacity	192 kbyte
6	15E1235	Command Format System	0, 1, 2, 3
7	115E1235	Bit grid	32 bits
8	15E1142	System availability factor	0,9995
		Average system recovery time	0,5 hours

Table 2– The list of implemented functions, type and number of operations included in the algorithm for choosing a message path

No.	Implemented function	Function type	Number of operations
1	Determining the values of the elements $a_{jir}$ ( $a_{jig}$ ) rows (columns) of the adjacency matrix.	ROM access	40
		Addition	30
2	Formation of a binary string of accessibility.	Addition mod. 2	40
3	The definition of an adjacent branch.	Addition	4
		Comparison	3
4	Definition of transit ASC set $U_s$	Addition	30
		Addition mod.2	20
5	Determination of the necessary direction of information transfer.	Addition	100
		Comparison	50
6	Route $q_{i+1}=q_i+S$ flagging.	Addition	50
7	Determining the priority of the message (calculation of the function $T_x$ ).	Addition	400
		Multiplication	1600
		RAM access	10
		Comparison	10
8	Calculation of algorithms for the formation, transmission and processing of service information on the status of the telecommunications network.	RAM access	100
		ROM access	20
		Addition	200
		Subtraction	300
9	Reproduction of messages.	RAM access	250
		ROM access	40
		Addition	200
10	Delivering information through communication channels.	-	-

For the further transmission, a ASC is selected as the candidate's ASC for the further transmission, the transmission direction to which at the moment has the minimum quoted queue length  $L_s = l + l_s + l\delta_s$ , where  $l$  is the queue length, counted in messages for 1 communication direction channel.

At each step, according to S on the admissibility of deviations from the shortest path, the telephone direction is first checked. If it is unacceptable, then the telegraphic direction is checked.

After determining the direction of further transmission, the priority of message transmission is determined. For this, the function of estimating the time of bringing the message is calculated as  $T_x = \tau\sigma_1d + \sigma_2(l + l_{\delta_s})$ , where  $d$  is the length of the residual path (in arcs) to the recipient's ASC;  $\sigma_1, \sigma_2$  – constants selected from ROM-098. Next, using the CS, the process of calculating the algorithms for the formation, transmission and processing of service information about the state of the telecommunication network is carried out. To bring information to all ASCs, the message is propagated to the higher links 1, 2 and 3 of the DTS allocated by ASC.

Further, through the communication channels, the process of bringing information to the ASCs corresponding to the levels (links) of the DTS is carried out.

Based on the data presented in tables 1 and 2, we will create table 3. This table contains general information about the number of operations of each type included in the PSA. Table 3 also contains calculated data on the total implementation time of all operations of each type in the PNS contained in the PSA for four-byte (32 binary bits ( $l = 4$ )) bit words.

Based on the data in table 3, in accordance with the expression (1), we determine the performance values  $\Pi_{PNS}$  of the product 15E1235 when solving the PSA algorithm in the PNS. Using the results of calculations placed in table 3, we determine the time to solve the PSA problem  $T_{solv}$ . We get that  $T_{solv} = 0,33 * 10^4$  conv. units. Given that  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,2$ , we define the following values:  $T_{in}(1 - \varepsilon_1) \approx T_{out}(1 - \varepsilon_2) = 1,2$  conv. units;  $T_{ex} = 1380$  conv. units;  $T_c = 1$  conv. units;  $T_{maint} = 0,5$  conv. units. In accordance with the expression (1), we determine the value of the productivity of the product 15E1235 when solving the PSA algorithm.

The calculation results showed that  $\Pi_{PNS} \approx 3$  PSA / conv.units, i.e. the user productivity of the CS processor in the PNS is equal to three PSA reference tasks, one relative conventional unit of time.

In order to assess the performance of CS in RNS, we will use the previously obtained research results. To do this, it is necessary to determine the set of conversion coefficients of the relative time for the implementation of arithmetic operations, implemented on the basis of the tabular principle (TP) [8], respectively, for the addition  $K^+$ , subtraction  $K^-$  и comparison  $K^{comp}$  of numbers for  $l=4$ . From the table 3 we have that  $K^+ = 2 / 63 = 0,03$ ,  $K^- = 2 / 2048 = 0,001$  and  $K^{comp} = 7 / 63 = 0,1$ . Based on the obtained values of conversion factors, we determine the values of the total implementation time of all operations of each type. Table 4 summarizes the number of operations of each type included in the PSA and also the estimated data on the total implementation time of all operations of each type in the RNS contained in the PSA for four-byte (32 binary bits ( $l = 4$ )) bit words.

Table 3–PSA characteristics in PNS

Item No.	Type of operation	Number of operations	Operation execution time [conv. units]
1	RAM access	360	1080
2	ROM access	100	300
3	Addition	1314	9198
4	Multiplication	1600	320000
5	Comparison	63	441

Table 4–PSA characteristics in RNS

Item No.	Type of operation	Number of operations	Operation execution time [conv. units]
1	RAM access	360	1080
2	ROM access	100	300
3	Addition	1314	275
4	Multiplication	1600	320
5	Comparison	63	6



Based on the relation (1), the performance of the CS in the RNS when solving the PSA was calculated. Analysis of the results showed that the performance of the CS in the RNS is equal to the value of  $\prod_{RNS} \approx 500$  PSA / conv. units, i.e. the performance of the CS processor in the RNS is 500 PSA reference tasks for one conventional unit. This is somewhere around 160 times larger than with PNS (see table 5).

Table 5—The value of some characteristics of the CS for various number systems

CS characteristics	PNS	RNS
		Tabular principle
User productivity $\Pi$ [PSA/conv. units]	3	500
Reliability $P_{CSCPID(t_{PSA})}$ [probability of failure-free operation]	0,9660	0,9999
The relative amount $V_{CSCPID}$ of equipment [conv. units]	64	60
The number $\Delta A$ of additional input amount of equipment [%]	100	87,5

Table 5 further shows that using the tabular principle of data processing, as well as using well-known calculated data, the use of RNSs provides a higher reliability (in the probability of failure-free operation of the  $P_{CSCPID(t_{PSA})}$ ) of the CS than with the use of the tripled majority structure in binary PNS and with the smallest additionally entered amount of equipment.

### Conclusion

In accordance with the goal, in the article, a calculation and comparative analysis of the performance of CS in PNS and in RNS was performed. As an example of calculation and comparative analysis of data processing performance, the basic task of the message switching process is given - the task of choosing the transmission path of a formalized message between subscribers of the CS. The research results showed that the use of RNS as a number system for CS allows, in comparison with PNS, to significantly increase the productivity of processing data presented in integer form. Thus, the TP implementation of the arithmetic operations that are part of the PSA, when compared with the binary PNS, allows to increase the performance of non-positional CS operating in the RNS by 160 times.

### REFERENCES

1. Krasnobayev, V., Kuznetsov, A., Yanko, A., Koshman, S., Zamula, A., Kuznetsova, T. (2019), "Data processing in the system of residual classes. Monograph," ASC Academic Publishing, 208 p. – ISBN: 978-0-9989826-6-3 (Hardback),
2. Akushskii, I.Ya. and Yuditskii, D.I. (1995), "Machine Arithmetic in Residual Classes," Sov. Radio, Moscow, 440 p.
3. Krasnobayev, V., Yanko, A. and Koshman, S. (2016), "A method for arithmetic comparison of data represented in a residue number system," Cybernetics and Systems Analysis, vol. 52, Issue 1, pp. 145-150.
4. Krasnobayev, Koshman, S. and Mavrina, M. (2014), "A method for increasing the reliability of verification of data represented in a residue number system," Cybernetics and Systems Analysis, vol. 50, Issue 6, pp. 969-976.
5. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
6. Nechausov A., Mamusuê I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21-26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
7. Кучук Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвергентній системі / С.Ю. Гавриленко. *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, № 2. С. 116-121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.20>
8. Kavun, S., Zamula, A. and Mikheev, I. (2017), "Calculation of expense for local computer networks," *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkov, pp. 146-151.

Received (Надійшла) 29.06.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 02.09.2020

### Задача вибору надійного шляху для передачі повідомлень у комп'ютерній мережі

А. С. Янко, І. В. Філь

**Анотація. Актуальність дослідження.** У існуючих системах передачі даних в контурі управління є комп'ютерна система. Результати аналізу роботи технічних систем та засобів обробки інформації в режимі реального часу показали, що в більшості випадків ефективність використання всієї системи в цілому залежить від ефективності обробки даних. Очевидно, що однією з найважливіших характеристик спеціалізованої системи є її продуктивність, що визначається обсягом обчислювальної роботи за одиницю часу. **Основна мета** – вирішити задачу вибору надійного шляху передачі повідомлень у комп'ютерній мережі. **Результати.** У статті наведено розрахунок та порівняльний аналіз надійності та продуктивності обчислювальних систем в позиційній двійковій системі числення та в непозиційній системі числення в залишкових класах (система залишкових класів – СЗК), для розрахунків та порівняння ми розглядаємо практичну задачу. Розрахунок та порівняльна оцінка надійності та продуктивності обчислювальної системи в СЗК та існуючої в позиційній двійковій системі числення обчислювальної системи АПО-221 виробу 15Е1235 (центр автоматичної комутації повідомлень – ЦАК) при вирішенні основного завдання ЦАК – задача вибору шляху передачі формалізованого повідомлення (алгоритм вибору шляху). **Висновок.** Результати досліджень показали, що використання RNS як системи числення для CS дозволяє, порівняно з PNS, значно збільшити продуктивність обробки даних, представлених у цілочисельній формі. Таким чином, реалізація TP арифметичних операцій, які є частиною PSA, у порівнянні з двійковим PNS дозволяє збільшити продуктивність непозиційних CS, що працюють в RNS, у 160 разів.

**Ключові слова:** алгоритм вибору шляху, комп'ютерна система, комп'ютерні системи та компоненти швидкої обробки цілочисельних даних, позиційні системи числення, система залишкових класів, системи передачі даних.



В. А. Глива<sup>1</sup>, О. В. Ходаковський<sup>2</sup>, Л. О. Левченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ, Україна

<sup>2</sup> Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

## ЗАСАДИ ПРОЕКТУВАННЯ ОБЛИЦЮВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ГРАДІЄНТНОГО ТИПУ ДЛЯ ЕКРАНУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ

**Анотація** У роботі розглянуто основні принципи проектування та вироблення матеріалів для екранування електромагнітних полів широко частотного діапазону. Призначення таких матеріалів - облицювання поверхонь великих площ. Сформульовано головні вимоги до таких матеріалів. Головними з них є: лицьова поверхня повинна мати електрофізичні властивості (діелектричну та магнітну проникності), мінімально можливі для забезпечення низьких коефіцієнтів відбиття електромагнітних хвиль. При цьому обов'язковим є одночасне забезпечення міцнісних характеристик, вогнестійкості, нетоксичності тощо. Вміст радіопоглинальної субстанції у прошарку шарової структури й закономірності зростання ефективної діелектричної (магнітної) проникності у бік підкладинки повинні забезпечувати широкосмуговість та ефективність матеріалу. Дисперсійна залежність повинна забезпечити рівномірне у заданому діапазоні частот поглинання електромагнітної енергії та її проходження від вхідної поверхні до підкладинки. Надано розрахунок необхідної товщини градієнтного матеріалу за заданого коефіцієнта відбиття, виходячи з максимальної та мінімальної довжин хвиль екранованого поля, магнітних проникності та товщин окремих шарів. Показано можливість виготовлення монолітного металополімерного екрана з поверхневим шаром з малою діелектричною проникністю за рахунок термооброблення поверхні матеріалу під час виготовлення. Показано можливість та надано технологічні рішення щодо створення монолітного металополімерного екрана з керованим градієнтом феромагнітної дрібнодисперсної субстанції у напрямку від лицьової поверхні до нижньої. Такий матеріал можливо застосовувати для керування співвідношень коефіцієнтів екранування високочастотних електромагнітних полів, електричних та магнітних полів наднизьких частот і супутнього екранування природного магнітного поля.

**Ключові слова:** електромагнітні поля; екранування; коефіцієнти екранування; облицювальний захисний будівельний матеріал.

### Вступ

Упродовж багатьох років головною метою при розробленні матеріалів для екранування електромагнітних полів та проектуванні екрануючих конструкцій було отримання максимальних коефіцієнтів екранування за будь-яким фізичним механізмом. Останнім часом, у зв'язку зі зростанням усвідомлення щодо шкідливості гіпогеомагнітного поля (штучно зниженого природного магнітного поля), необхідністю стабільного функціонування засобів бездротового зв'язку з одночасним зниженням напруженостей техногенних полів іншого походження виникла потреба у розробленні захисних матеріалів, які на прийнятному рівні задовольняють ці вимоги.

Але суцільні металеві конструкції з регулярними металевими структурами та більшість композиційних матеріалів не відповідають висунутим вимогам. Це обумовлене великими коефіцієнтами відбиття усіх суцільних металевих (кристалічних та аморфних) матеріалів, екранування вузькосмугових високочастотних полів ґратчастими та сітчастими матеріалами, високими коефіцієнтами екранування наднизькочастотних та високочастотних полів композиційними металовмісними матеріалами.

Для вирішення задач раціоналізації ступенів захисту від електричних, магнітних та електромагнітних полів, виходячи з теоретичних міркувань, доцільно розглянути захисні матеріали градієнтного типу – багат шарові й гетерогенні суцільні з градіє-

нтом електрофізичних та магнітних властивостей у тілі матеріалу.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблематиці розроблення та дослідження захисних властивостей неоднорідних матеріалів приділяється достатньо уваги [1,2]. Але розроблені у них технології стосуються вирішення задач електромагнітної сумісності, тобто зниження полів заздалегідь відомих амплітудно-частотних характеристик [3] призначений також для задач електромагнітної сумісності у авіаційній галузі, тому поряд з фіксованими вимогами щодо захисту у визначеній смузі частот, у цьому матеріалі, багато уваги приділено підвищенню міцнісних характеристик та зниженню ваги.

У ґрунтовній оглядовій роботі [4] показано, що градієнтні властивості можуть мати й матеріали призначені для індивідуального захисту й мало придатні для облицювання поверхонь. У дослідженні [5] показано, що можливо отримати градієнт фізичних властивостей у гетерогенному матеріалі.

Важливою є задача розрахункового визначення та прогнозування захисних властивостей матеріалів або попередній розрахунок можливої конструкції, виходячи з потрібного функціоналу [6, 7].

Але у першій публікації, хоча йдеться про оптимізацію захисту, задача оптимізації не розв'язувалася ні аналітично, ні графічно. У другій – розроблений матеріал, особливо за вмісту вологи, хоча й має високі функціональні якості, схильний до деградації й неприйнятний для облицювання великих площ.

У матеріалах [8] представлені сучасні підходи до проектування облицювальних поверхонь, параметри яких можна розрахувати. А у роботі [9] показано принципову можливість раціоналізувати ступені захисту впливу магнітних та електромагнітних полів різнорідних джерел, що є ґрунтом для подальших досліджень.

**Мета роботи** – розробити основні алгоритми проектування облицювальних матеріалів градієнтного типу і визначити можливість їх застосування для керованого зниження рівнів електромагнітних полів.

### Виклад основного матеріалу

Сучасні облицювальні матеріали повинні відповідати низці вимог – загальних та спеціальних.

До загальних належать вимоги щодо механічних властивостей – міцності, питомої ваги, надійності (відсутності деградації матеріалу у процесі експлуатації), надійності закріплення на робочих поверхнях, а також високої вогнестійкості й мінімального виділення шкідливих речовин.

До спеціальних вимог належать – високі коефіцієнти екранування у широкому діапазоні частот (з можливістю керування коефіцієнтами поглинання електромагнітної енергії) та мінімально можливі коефіцієнти відбиття електромагнітних хвиль.

Однозначне забезпечення усіх наведених вимог у одному матеріалі на оптимальному рівні практично неможливе, тому існує широка номенклатура захисних та облицювальних матеріалів, які вирішують локальні задачі електромагнітної безпеки. Але існує можливість раціоналізувати співвідношення ступенів захисту для різних критичних частот або частотних смуг магнітних, електричних та електромагнітних полів. Необхідним є досягнення компромісу між бажаним та технічно досяжним ефектом для кожного окремого електромагнітного впливу з урахуванням інших впливів, підходи до екранування яких можуть суперечити один одному. Наприклад, знижуючи рівні техногенних магнітних полів наднизьких частот (промислової та її гармонік), ми можемо за певних умов заекранувати природне магнітне поле, що шкідливо для людей й регулюється відповідним нормативом.

У загальному випадку найпростішою задачею є зниження рівнів електромагнітних полів дуже високих, ультрависоких та надзвичайно високих полів частот, притаманних випромінювань засобів зв'язку та частині промислового та побутового обладнання. Будівлю або окремі приміщення можна заекранувати металевим або композиційним плоским матеріалом, враховуючи малу довжину електромагнітної хвилі і незначні дифракційні явища на кромках захисних конструкцій. Але значний внесок у захист від високочастотних випромінювань припадає на відбиття електромагнітних хвиль, що є небажаним через відбиття у бік інших будівельних приміщень, підвищення електромагнітного фону через перевідбиття усередині будівель і приміщень.

Уникнення такого ефекту можливе за рахунок застосування градієнтних екрануючих матеріалів

(багатошарових та суцільних). Не дивлячись на те, що метод зменшення коефіцієнтів відбиття за рахунок створення між двома поверхнями зазору завортки у чверть довжини падаючої хвилі, загальноновідомий, у багатьох випадках його застосовують невірньо (не враховують електрофізичні та магнітні властивості верхнього та нижнього шарів). До того ж така конструкція має вузькосмуговий захист.

Коефіцієнт відбиття електромагнітної хвилі однозначно визначається електричними та магнітними властивостями поверхні. Наприклад, коефіцієнт відбиття електромагнітної хвилі за її нормального падіння на поверхню:

$$K_r = \frac{1 - \sqrt{\varepsilon_m}}{1 + \sqrt{\varepsilon_m}},$$

де  $\varepsilon_m$  – діелектрична проникність поверхневого шару матеріалу, на який падає хвиля.

Для забезпечення широкосмуговості матеріалу чверть хвильовий проміжок, (або проміжки) слід заповнювати одним з багатьох розроблених радіопоглинальних елементів на основі феритів, вуглецевих з'єднань тощо. При розробленні матеріалу для екранування високочастотних полів необхідно виходити з таких принципів:

- лицьова поверхня повинна мати діелектричну проникність, мінімально можливу за забезпечення заданих вимог до матеріалу (міцність, негорючість тощо);

- вміст радіопоглинальної субстанції у прошарку (прошарках) і закономірність його зміни за товщиною повинен забезпечити поступове зростання еквівалентної (ефективної) діелектричної проникності (в основному уявної частини комплексної діелектричної проникності) у напрямку поверхня падіння хвилі – підкладки;

- дисперсійна залежність повинна забезпечити рівномірне поглинання електромагнітної енергії її за її проходження від вхідної поверхні до підкладки і у зворотному напрямку.

Необхідну товщину матеріалу можна оцінити виходячи зі співвідношення [10]

$$|\ln R_r|(\lambda_{\max} - \lambda_{\min}) < \sum_i \mu_i d_i,$$

де  $R_r$  – максимальний коефіцієнт відбиття за потужністю;  $\lambda_{\max}$ ,  $\lambda_{\min}$  – максимальна та мінімальна довжина хвиль частотної смуги;  $\mu_i$  – відносна магнітна проникність кожного  $i$ -того шару;  $d$  – його товщина. Для немагнітних матеріалів у правій частині виразу замість суми береться повна товщина структури матеріалу.

У загальному випадку втрата (поглинання) енергії електромагнітних хвиль у середовищі визначається комплексним характером величин його діелектричної та/або магнітної проникностей.

Якщо комплексні проникності:

$$\varepsilon = \varepsilon' + i\varepsilon'', \quad \mu = \mu_i' + i\mu_i'',$$

де  $\varepsilon', \mu'$  – дійсні, а  $\varepsilon'', \mu''$  – уявні складові комплексним проникностей, то коефіцієнт втрат (поглинання) визначається як:

$$\alpha = (\sqrt{\varepsilon\mu})'' ,$$

При цьому ослаблення енергії хвилі, що пройшла у середовищі відстань  $d$  складає

$$e^{-\frac{4\pi\alpha d}{\lambda}} ,$$

де  $\lambda$  – довжина електромагнітної хвилі у вільному просторі.

Але виробництво багатошарових структур, принаймні таких, що потребують з'єднання шарів, пов'язане з низкою технологічних проблем (забезпечення довготривалої адгезії шарів, точного витримання розмірів проміжків тощо). Крім того, це потребує у якості лицьового шару використовувати матеріали з максимально низькими значеннями  $\varepsilon$  та  $\mu$  для мінімізації коефіцієнтів відбиття. При цьому обов'язковою умовою є наявність металевої підкладки у багатошаровій структурі, яка може повністю блокувати сигнали мобільного зв'язку.

Застосування композиційних матеріалів – металополімерів може вирішити задачу одночасного зниження рівнів електричних та магнітних полів наднизьких частот – промислової та її гармонік. Але більшість полімерів мають значні діелектричні проникності.

Наприклад, латекс, який застосовувався у якості матриці у роботі [11], має  $\varepsilon \approx 24$ , що автоматично забезпечує високі коефіцієнти відбиття. А той же час залізорудний пил, який застосовувався у якості екрануючого наповнювача, має  $\varepsilon \approx 1,5$ . Дослідження свідчать, що під час термічної обробки металолатексного матеріалу у приповерхневому шарі відбувається накопичення металовмістких залізорудних частинок. Тобто, зменшити коефіцієнт відбиття матеріалом можливо, створивши градієнт концентрації частинок наповнювача під час нагрівання і вулканізації поверхневого шару (рис 1).

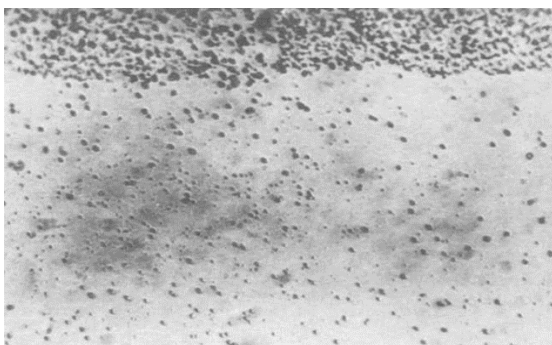


Рис. 1. Переріз термообробленого зразка металополімерного матеріалу

Як видно з рисунку, тонкий приповерхневий шар переважно насичений залізорудними частинками, що наближає діелектричну проникність до мінімально можливих для таких композицій значень.

При цьому сам металополімерний композит має, через вміст заліза та його оксидів, високі екранувальні властивості щодо низькочастотних магнітних та електричних полів.

Експериментальні дані та теоретичні міркування свідчать, що з металополімерної суміші можливо отримати захисний матеріал градієнтного типу без накладання окремо вироблених шарів. Для цього необхідно в усьому тілі матриці створити градієнт концентрації екрануючої субстанції у тілі полімерної матриці. Це реалізується за рахунок застосування залізорудного пилу різної дисперсності і ваги окремих частинок, які з різною швидкістю осідають у рідкій суміші (рис 2).

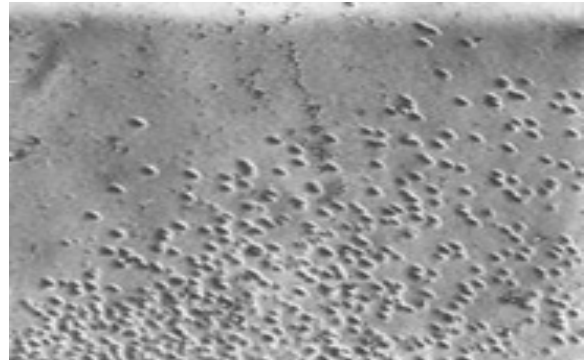


Рис. 2. Градієнт концентрації залізорудних частинок у полімерній матриці

Наведений спосіб дозволяє застосовувати у градієнтному матеріалі без металевої підкладки.

Практична реалізація такого способу можлива за рахунок оброблення готової вихідної суміші, наливої на пласку поверхню постійним неоднорідним магнітним полем, що створить градієнт екрануючих частинок з ущільненням у нижній частині кювети з розчином, де розташовані магніти. Але у цьому випадку необхідно застосувати наповнювач з вищими магнітними властивостями, наприклад, залізорудний концентрат, який має дисперсність 150-200 мкм і добре перемішується з рідким полімером. Але одночасне отримання верхнього, насиченого залізорудним пилом шару та поступове ущільнення розподілу частинок у напрямку нижньої сторони матеріалу досить складне, тому у кожному конкретному випадку слід визначатися з пріоритетним фактором впливу на електромагнітну обстановку і обирати конструктивні рішення щодо впровадження екранування.

## Висновки

1. Визначено вимоги до сучасних облицювальних матеріалів для екранування електромагнітних полів. Головними з них є: екранування електромагнітних полів частот (смуг частот), притаманних більшості джерел техногенних електромагнітних полів, найбільш критичних з точки зору безпеки людей, механічна міцність, зчеплення з основою, вогнетривкість, нетоксичність.

2. Показано, що екранування полів дуже високих, ультрависоких та надзвичайно високих частот

доцільно здійснювати градієнтною багат шаровою структурою і надано засади її проектування. Надано основні критерії щодо забезпечення необхідного рівня захисту, зокрема до лицьового шару багат шарової конструкції. Запропоновано розрахункове прогнозування ефективності захисної конструкції, виходячи з електрофізичних та магнітних властивостей матеріалів та смуги частот електромагнітного поля, що екрануються.

3. Представлено спосіб отримання поверхнього шару у суцільному матеріалі з малими діелект-

ричними проникностями. Він полягає у поверхневій термообробці рідкої суміші метало полімеру.

4. Запропоновано спосіб отримання градієнту концентрації металевих і металовмісних частинок у композиційному метало полімерному матеріалі, що дозволяє виробляти облицювальні матеріали високої ефективності у широкому діапазоні частот. Перевагою такого матеріалу є малі маса та вагтість, монолітність, що знижує імовірність розшарування та деградації під впливом фізико-хімічних чинників.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. The extension of the Maxwell Garnett mixing rule for dielectric composites with nonuniform orientation of ellipsoidal inclusions //Progress in Electromagnetics Research Letters. 2012. v. 30. p. 173-184.
2. Конструкционный радиопоглощающий материал трехслойной структуры с согласующим слоем [Беляев А.А., Агафанова А.С., Антипова Е.А., Ботаногова Е.Д.] //Труды ВИАМ 2013. №4. с. 62-68.
3. Панова О.В. Особенности формирования монолитных конструкционных радиопоглощающих материалов на основе композитов, наполненных резистивным волокном [Агафанова А.С., Беляев А.А., Кондрашов Э.К., Романов А.М.] //Авиационные материалы и технологии. 2013. №3. с. 56-59.
4. Новые технологии создания экранов электромагнитного излучения на основе модифицированных порошковых, наноструктурированных и пленочных материалов [Л.М. Лыньков, В.А. Богуш, Т.В. Борботько и др.] // Доклад БТУИР 2019. №2. с. 85-99.
5. Research into protective properties of electromagnetic screens based on the metal-containing nanostructures V Glyva, V Kovalenko, L Levchenko, O Tykhenko Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 50-56, 2017
6. Беляев А.А., Широков В.В., Романов А.М. Особенности оптимизации резонансных радиопоглощающих материалов немагнитного типа // Труды ВИАМ. 2014 № 11. с. 62-68.
7. Украинец Е.А., Колбун Н.В. Экранирующие свойства многослойных конструкций электромагнитных экранов на основе материалов с малоразмерными включениями металлов и жидких сред //Доклады БГУИР. 2013. №4. с. 115-118.
8. Глива В.А., Левченко Л.О., Панова О.В., Тихенко О.М. Радомська М.М. Композиційний метало полімерний облицювальний матеріал для екранування електромагнітних полів. тези доповідей IV міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології в архітектурі і дизайні». 21-22 травня 2020 р. Харків, ХНУБА. Секція 4 «Новітні будівельні матеріали та сучасні технології в архітектурі та дизайні» с.155-158 <http://www.itad.com.ua/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%8F-2020/>
9. Касаткіна Н.В., Левченко Л.О., Панова О.В., Тихенко О.М., Ченчевой В.В. 2020. Оптимізація параметрів екранування електромагнітних полів різнорідних джерел у виробничих будівлях. ВІСТІ Донецького гірничого інституту №1 (46). ISSN 1999-981X/Розділ - безпеки життєдіяльності. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-1-181-188>
10. Розанов К.А. Фундаментальные ограничения для ширины рабочего диапазона радиопоглощающих покрытий //Радиотехника и электроника. 1999. Т. 44. с. 526-530.
11. Glyva V.A., Podoltsev A.D., Bolibrukh B.V., Radionov A.V. A thin electromagnetic shield of a composite structure made on the basis of a magnetic fluid. Tekhnichna elektrodynamika. 2018. № 4. P.14–18. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.014>.

Received (Надійшла) 14.07.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.08.2020

### Fundamentals of designing coating materials of gradient shielding of electromagnetic fields

V. Glyva, O. Khodakovskyy, L. Levchenko

**Abstract.** The paper considers the basic principles of the design and production of materials for shielding electromagnetic fields with a wide frequency range. The purpose of these materials is to cover large areas. Basic requirements for such materials are formulated and the main ones are: the front surface must have electrophysical properties of "dielectric and magnetic permeability", at least to ensure low coefficients of reflection of electromagnetic waves. In this case, it is imperative that it simultaneously provides characteristics such as toughness, fire resistance, and non-toxicity. Contents of radio-absorbing substances in the interlayers of spherical structures and the growth regularities of the effective dielectric (magnetic) permeability towards the substrate should ensure the broadband and efficiency of the material. The dispersion dependence should ensure uniform absorption of electromagnetic energy in a given frequency range and its transmission from the input surface to the substrate. The calculation of the required thickness of the gradient material for a given reflection coefficient, based on the maximum and minimum wavelengths of the screened field, magnetic permeability, and the thickness of individual layers is provided. The possibility of manufacturing a monolithic metal-polymer screen with a surface layer that has a low dielectric constant due to heat treatment of the material surface during manufacturing is shown. The possibility is shown and technological solutions are provided for creating a monolithic metal-polymer screen with a controlled gradient of a ferromagnetic finely dispersed substance in the direction from the front surface to the bottom. Such material can be applied to control ratios of shielding coefficients of high-frequency electromagnetic fields, electric and magnetic fields of ultralow frequencies, and the accompanying shielding of a natural magnetic field.

**Keywords:** electromagnetic fields; shielding; screening factors; cladding protective building material.

Н. В. Касаткіна<sup>1</sup>, О. М. Тихенко<sup>2</sup>, О. В. Панова<sup>3</sup>, Я. І. Бірук<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

<sup>2</sup> Національний авіаційний університет, Київ, Україна

<sup>3</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЕКРАНІВ РЕГУЛЮВАННЯМ МОРФОЛОГІЇ ФЕРОМАГНІТНОГО НАПОВНЮВАЧА

**Анотація.** Встановлено, що при проектуванні композиційних металополімерних електромагнітних екранів необхідно врахувати морфологію частинок екрануючої субстанції – принаймні співвідношення довжини та товщини окремих частинок. Визначено, що різке зростання захисних властивостей відбувається за концентрацій екрануючих елементів, коли вони контактують між собою (критична концентрація). Найбільша критична концентрація (до 47 %) відповідає співвідношенню довжини та діаметру частинок 1:2. Зі зростанням співвідношення критична концентрація монотонно зменшується. За співвідношення 1:32 вона складає 15 %. Показано, що некоректні результати розрахунку діелектричної проникності композиційних матеріалів для визначення коефіцієнтів екранування, зокрема коефіцієнта відбиття електромагнітних хвиль обумовлені невірним розрахунком коефіцієнтів деполяризації, які є визначними щодо обчислення критичних об'ємних концентрацій провідної субстанції у матриці композиційного матеріалу. В свою чергу значення критичної концентрації входить до формули Оделевського для розрахунку діелектричної проникності гетерогенних композиційних матеріалів. Наведені розрахунки впливу співвідношення довжини та діаметра екрануючих елементів придатні для застосування (прогнозування функціоналу) тільки для композитів з вмістом однакових спеціально виготовлених екрануючих елементів. Розрахунки для умовно круглих (точкових) екрануючих частинок не збігаються з надійними експериментальними даними. Для такого наповнювача критична концентрація (за вагою) – 12–15 %. Прогнозування захисних властивостей композитів з використанням дрібнодисперсної субстанції (принаймні до розмірів частинок 150–200 мкм) доцільно здійснювати на основі визначення електрофізичних властивостей суміші. Наведено спосіб застосування для таких розрахунків формули Дебая для діелектричної проникності матеріалу.

**Ключові слова:** електромагнітний екран, композиційний матеріал, коефіцієнт деполяризації, формула Дебая.

### Вступ

Найбільш ефективними матеріалами для екранування електромагнітних полів є композити діелектричних матриць з наповнювачами з металевих та металовмісних елементів різної форми та регулярності розташування. Перевагами таких композиційних матеріалів є можливість регулювання коефіцієнтами поглинання та відбиття електромагнітних хвиль за рахунок зміни геометричних характеристик матеріалів та концентрацій екрануючого наповнювача у ньому. Зокрема, ефективним способом підвищення коефіцієнтів екранування є підвищення дисперсності екрануючої субстанції, але практично в усіх випадках екрануючі частинки мікро- та нанорозмірів розглядалися як малі кулеподібні об'єкти без урахування їх морфології. Форма екранувальних елементів вираховувалася тільки для частинок протяжної (дроти) та пласкої (лускоподібної) конфігурації. Втім теоретичні міркування свідчать, що зміна форми частинок, принаймні мікророзмірів може суттєво впливати на захисні властивості матеріалів, що відкриває можливості за певних умов зменшувати товщину захисного матеріалу зі збереженням ступенів захисту й знижувати вагу екрануючої конфігурації, тому потребує оцінювання й порівняння з експериментальними даними залежності екрануючих властивостей композиційних металовмісних матеріалів від морфологічних показників екрануючих елементів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зазвичай у якості наповнювача діелектричної матриці у композиційних матеріалах застосовують феромаг-

нітні елементи (залізо, нікель, кобальт) та їх сполуки. Поширення набули також ферити різного складу. У більшості робіт розглядаються залізовмісні наповнювачі різної дисперсності. У дослідженні [1] розглядалися можливості виготовлення магнітних та електромагнітних екранів на основі магнітної рідини з вмістом феромагнітних частинок. За таких розмірів наночастинок, врахувати їх форму неможливо. У роботі [2] досліджено захисні властивості металополімерного матеріалу на основі латексу та залізорудного пилу. Показано, що зі збільшенням дисперсності залізорудного наповнювача підвищується загальний коефіцієнт екранування електромагнітних полів наднизьких та ультрависоких частот і знижуються коефіцієнти відбиття електромагнітних хвиль ультрависоких частот. Перевагою дослідження є вимірювання змін ефективної діелектричної проникності та питомої провідності матеріалів у залежності від вмісту провідного матеріалу, що надає інформацію про критичні, з точки зору захисних властивостей, концентрації екрануючої речовини. У дослідженні [3] розглядаються протяжні наноструктури регулярного розташування, що викликає труднощі технологічного характеру. Аналітичне визначення ефективності таких структур добре опрацьовано. Практично в усіх дослідженнях розглядаються приблизні розміри та переважна дисперсність частинок навіть розмірів сотень мікрон [4]. Значною мірою це обумовлене тим, що одним з пріоритетних напрямів досліджень з отримання новітніх матеріалів є створення захисних матеріалів на текстильній основі. У дослідженні [5] розглянуто технологію виготовлен-

ня тканини просоченої карбоновими частинками, розміри яких не надаються. Роботу [6] присвячено створенню текстильного матеріалу з використанням феромагнітної рідини. Під дією магнітного постійного поля високої неоднорідності наночастинки магнетиту імплантуються у волокна тканини, утворюючи протяжні регулярні захисні елементи. В останні роки виконано низку робіт, які визначають вплив морфології екрануючих елементів на захисні властивості матеріалів, але у цих дослідженнях є невідповідності та протиріччя. Так, у статті [7] надано розрахунок відбивальної спроможності нового матеріалу з наповнювачем із резистивних волокон, але цей наповнювач не впливає на ці властивості через його розташування під верхнім шаром відомого і досить добре дослідженого матеріалу. У роботі [8] стверджується, що найнижчий коефіцієнт магнітної деполаризації мають частинки сферичної форми, але це не відповідає дійсності. У роботі [9] наведено невірне співвідношення щодо розрахунку деполаризації частинок визначених довжини та товщини, що призводить до помилкового визначення необхідної та критичної об'ємної частки екрануючої компоненти у композиційному матеріалі. Наведене обумовлює проведення досліджень, щодо впливу габаритних параметрів та відносного вмісту екрануючих елементів у матриці композиційного матеріалу та порівнянні розрахункових результатів з експериментальними даними.

**Мета роботи** – розроблення засад керування ефективністю електромагнітних екранів за рахунок регулювання морфології екрануючої субстанції.

### Виклад основного матеріалу

Як показано у [2], для забезпечення ефективного екранування електромагнітних, магнітних та електричних полів екрануючі частинки повинні бути мікро-, субмікро-, або нанорозмірів. Відомо, що магнітний момент, тобто для підсилення, наприклад сумарного магнітного моменту, їх об'ємна концентрація повинна бути суттєвою. Наприклад, для порошкоподібних частинок, які мають форму луски, об'ємний вміст яких скорочується на 30 % й більше за збереження радіо поглинальних властивостей композиційного матеріалу [10]. Залежність захисних властивостей матеріалу від форми частинок визначається коефіцієнтом деполаризація:

$$F \sim (\ell/d)^2,$$

де  $\ell$  – довжина частинки,  $d$  – діаметр частинки.

Точне визначення здійснюється за формулою:

$$F = \ln(2\ell/d) / (\ell/d)^2.$$

Для різних співвідношень  $\ell$  і  $d$  коефіцієнт деполаризації приймає значення, наведені у табл. 1.

Як видно, найбільший коефіцієнт деполаризації притаманий симетричній структурі, притаманній кульовій формі, але його значення 0,69, а не 0,33, як наведено у роботі [8]. Близьке значення мають частинки з  $\ell/d = 1/2$ , що для деяких випадків може бути важливим.

Таблиця 1 – Коефіцієнт деполаризації для різних співвідношень  $\ell$  і  $d$

$\ell/d$	$1/1$	$1/2$	$1/4$	$1/8$	$1/16$	$1/32$
F	0,69	0,35	0,13	0,04	0,014	0,004

Як показано у [2], різке зростання захисних властивостей металополімерного композиту (з наповнювачем з FeO, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) відбувається за різкого зростання провідності матеріалу, коли концентрація провідних частинок складає 12–14 % (за вагою). Очевидно, це відбувається за досягнення концентрації межі протікання, що узгоджується з положеннями електродинаміки суцільних середовищ та з результатами теоретичних та експериментальних досліджень для мідного наповнювача. Тобто, межа протікання електричного струму досягається за появи контакту між частинками наповнювача.

Для прогнозування захисних властивостей екрануючих матеріалів, критичну концентрацію, тобто концентрацію наповнювача, коли відбувається контакт між частинками наповнювача треба розраховувати, для цього доцільно застосовувати формулу Оделевського. Для розрахунку реальної діелектричної проникності суміші, яка заснована на її залежності від геометричних розмірів радіопоглинального наповнювача у вигляді резистивних диполів, їх об'ємних концентрацій та діелектричних характеристик матеріалів матриці та наповнювача.

$$\varepsilon = \varepsilon_M \left[ 1 + \frac{V_H (\varepsilon_H - \varepsilon_M)}{(1 - V_H/V_K) F (\varepsilon_H - \varepsilon_M) + \varepsilon_M} \right],$$

де  $\varepsilon_M$  – діелектрична проникність матеріалу матриці;  $\varepsilon_H$  – діелектрична проникність наповнювача;  $F$  – коефіцієнт деполаризації;  $V_H$  – об'ємна концентрація наповнювача;  $V_K$  – критична об'ємна концентрація наповнювача, за якої екрануючі частинки контактують між собою,  $V_K$  визначається як

$$V_K = \frac{[3F(1-F)]^{0,6}}{[4F\sqrt{\ell/d} + (1-F)/\sqrt{\ell/d}]^{0,6}}.$$

Враховуючи значну залежність електрофізичних параметрів від  $V_H$  та  $V_K$ , останній доцільно розраховувати для різних співвідношень довжини і діаметра екрануючих частинок. На рис. 1 наведено залежність критичної концентрації  $V_K$  (%) частинок від безрозмірного параметра  $\ell/d$ .

З отриманих даних видно, що найне сприятливішим співвідношенням  $\ell/d$ , на відміну від наведеного у [8], є 2/1, а відсоток вмісту екрануючої субстанції, який забезпечує високі захисні властивості зростає зі збільшенням співвідношення  $\ell/d$ .

Але отриманий результат суперечить надійним експериментальним даним. В роботі [2] показано, що ефекти підвищення провідності й зростання захисних властивостей відбуваються за вмісту екра-



нуючої субстанції 12–14 % у залежності від дисперсності залізорудного пилу.

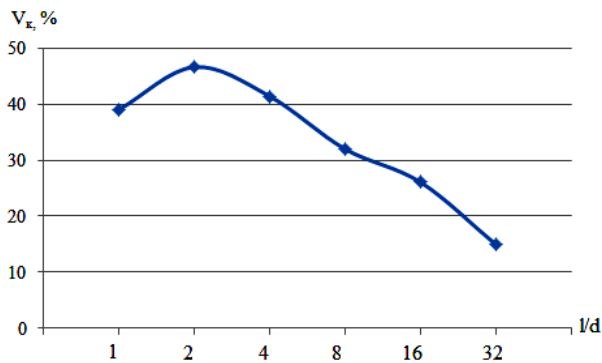


Рис. 1. Залежність критичної концентрації екрануючих частинок від їх геометричних параметрів

У роботі [11] показано, що за переважного розміру 12 мкм спектр розмірів частинок залізорудного концентрату досить широкий, це ж стосується розподілу розмірами частинок залізорудного пилу [2]. Тобто у цих випадках не можна розглядати якісь визначні геометричні параметри частинок. Враховуючи, що гранулометричний аналіз здійснювався методом седиментації, а вихідний залізорудний концентрат отримувався методом флотації, розміри  $l$  і  $d$  не можуть суттєво відрізнитися. Тобто, потребує тлумачення низький відсоток вмісту екрануючого матеріалу порівняно з розрахунковим. З цією метою було проведено металографічні дослідження зрізу металополімерного матеріалу (рис. 2).

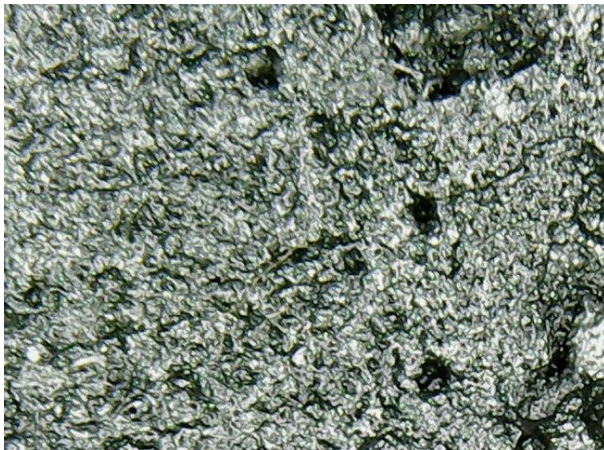


Рис. 2. Поверхня металополімерного матеріалу на основі латексу та залізорудного концентрату (вміст екрануючої субстанції 15 %, збільшення  $\times 200$ ).

Аналіз рис. 2 свідчить, що залізорудний концентрат, не дивлячись на ретельне перемішування із застосуванням ультразвукової обробки утворює у тілі матриці хаотично розташовані протяжні структури (чорний колір). Це обумовлює контакт окремих провідних частинок з утворенням довгих ланцюгів. При цьому середній розмір окремих частинок 150–200 мкм.

Таким чином, наведені розрахункові підходи дають коректні результати за застосування у якості

наповнювача спеціально виготовлених частинок фіксованих розмірів – потрібної довжини та діаметру. Для умовно круглих частинок, тобто приблизно однакових у середньому значень  $l$  і  $d$  та малих розмірів (принаймні до 100–150 мкм, а можливо і більше) коефіцієнти екранування та відбиття доцільно визначати за електрофізичними та магнітними властивостями матеріалів.

Для малих концентрацій наповнювача (до 20 %) формулу Оделевського для сумішей можливо привести до співвідношення типу формули Дебая для діелектричної проникності, обумовленою поляризаційним процесом типу релаксації [12]. Розрахунок діелектричної проникності матеріалу виконується за формулою, аналогічною формулі Дебая за умови неперервного спектра часу релаксації (довжин хвиль релаксації) з даними коефіцієнтами  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$

$$\varepsilon = \varepsilon_m + \frac{D\alpha_1\alpha_2}{1 + (\lambda_p/\lambda)^{1-\lambda}}$$

де  $\varepsilon_m$  – відносна діелектрична проникність матеріалу матриці;  $\lambda$  – довжина електромагнітної хвилі у вільному просторі;  $D$  – діаметр релаксації.

$$D = \frac{\varepsilon_m V_n}{F}, \quad \lambda_p = \frac{\varepsilon_m \rho_n}{60F},$$

де  $\rho_n$  – питомий опір наповнювача.

Коефіцієнт  $\lambda_1$  приблизно враховує орієнтацію вектора напруженості електричного поля. Для хаотичного розташування волокон або частинок приблизно круглої форми він дорівнює 0,33.

У загальному випадку емпіричні коефіцієнти  $\lambda_2$  та  $\lambda_3$  визначаються експериментально, виходячи зі складу та технології виготовлення матеріалу й враховують необхідність збільшення концентрації наповнювача у матриці порівняно з теоретичною та розкид (спектр) довжини хвилі релаксації. Для малих концентрацій та відношень  $l/d$  принаймні до 4  $\lambda_2 \approx 0,5-0,6$ ,  $\lambda_3 \approx 0,15-0,20$ .

У такий спосіб можна, з прийнятною похибкою, оцінити відбивальні властивості проектованого матеріалу, а також визначити загальні поглинальні властивості, виходячи з електрофізичних та магнітних властивостей компонентів проектованого електромагнітного екрана.

## Висновки

1. При проектуванні композиційних металополімерних матеріалів критичною для захисних властивостей матеріалу є морфологія частинок наповнювача. Різне зростання коефіцієнтів екранування відбувається за концентрацій, коли частинки наповнювача контактують між собою. Найбільш критична концентрація (47 %) для частинок (волокон) зі співвідношенням довжини та товщини (діаметра) – 1:2. Зі збільшенням співвідношення критична концентрація монотонно зменшується до 15 % (1:32).

2. Встановлено, що розрахунок за формулою Оделевського й визначення критичних концентрацій



для умовно точкових частинок наповнювача (нано- та мікророзмірів) дає некоректні результати. Для сферичних частинок наповнювача критична концентрація (розрахункова) – 39 %, для точкових (експериментальних) – 12–15 %.

3. Для дрібнодисперсного наповнювача, принаймні до розмірів частинок 150–200 мкм визначення (прогнозування) захисних властивостей метало-

полімерних матеріалів, зокрема коефіцієнта відбиття, доцільно здійснювати, виходячи з електрофізичних та магнітних властивостей компонентів композиційних матеріалів.

Достатньо коректні результати отримані за використання формули Дебая для діелектричної проникності матеріалу, обумовленої поляризаційними процесами типу релаксації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Glyva V.A., Podoltsev A.D., Bolibrukh B.V., Radionov A.V. A Thin Electromagnetic Shield of a Composite Structure Made On the Basis of a Magnetic Fluid. *Tekhnichna elektrodynamika*. 2018. № 4. P.14–18. DOI: <https://doi.org/10.15407/techmed2018.04.014>
2. Glyva V., Podkopaev S., L. Levchenko, N. Karaieva, K. Nikolaiev, O. Tykhenko, O. Khodakovskyy, B. Khalmuradov. Design and study of protective properties of electromagnetic screens based on iron ore dust. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018, Iss. 1/5 (91). PP. 10–17. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.123622>
3. Mondal S., Ganguly S., Das P., Khastgir D., Das N. C. Low percolation threshold and electromagnetic shielding effectiveness of nano-structured carbon based ethylene methyl acrylate nanocomposites // *Composites Part B: Engineering*. 2017. Vol. 119. P. 41–56.
4. Sukach, S., Riznik, D., Zacheпа, N., Chencheyov, V. (2020). Normalization of the Magnetic Fields of Electrical Equipment in Case of Unauthorized Influence on Critical Information Infrastructure Facilities. *Soft Target Protection*, 337–349. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-024-1755-5\\_28](https://doi.org/10.1007/978-94-024-1755-5_28).
5. Богуш В.А. Модифицирование водными растворами углеродосодержащих иглопробивных полотен для экранов электромагнитного излучения. Доклады БГУИР. 2016. №3 (97). С. 95-98.
6. Valentyn Glyva V., Kasatkina N., Nazarenko V., Burdeina N., Karaieva N., Levchenko L., Panova O., Tykhenko O., Khalmuradov B., Khodakovskyy O. Development and study of protective properties of the composite materials for shielding the electromagnetic fields of a wide frequency range. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020, Iss. 12 (104). PP. 40–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.201330>
7. Агафонова А.С., Беляев А.А., Кондрашов Э.К., Романов А.М. Особенности формирования монолитных конструкционных радиопоглощающих материалов на основе композитов, наполненных резистивным волокном. *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №3 (28). С. 56–59.
8. Краев И.Д., Образцова Е.П., Юрков Г.Ю. Влияние морфологии магнитного наполнителя на радиопоглощающие характеристики композиционных материалов. *Авиационные материалы и технологии*. 2014. №S2. С. 10–14.
9. Беспалова Е.Е., Беляев А.А., Широков В.В. Радиопоглощающие материалы для СВЧ-излучения высокой мощности. *Труды ВИАМ*. 2015. №3. С. 43–49.
10. Drmota A., Koselj J., Drogenik M., Žnidaršič A. Electromagnetic wave absorption of polymeric nanocomposites based on ferrite with a spinel and hexagonal crystal structure. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2012. 324(6). PP. 1225–1229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2011.11.015>.
11. Glyva V., Lyashok J., Matvieieva I., Frolov V., Levchenko L., Tykhenko O., Panova O., Khodakovskyy O., Khalmuradov B., Nikolaiev K. Development and investigation of protective properties of the electromagnetic and soundproofing screen. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Iss. 6/5 (96). P. 54–61. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150778>
12. Хмельник Г.И., Бибиков С.Б. Статистический анализ зависимости параметров распределения Дебая от удельных сопротивлений слоев многослойного РПП. *Технологии электромагнитной совместимости*. 2012. № 4(43). С. 45–51.

Received (Надійшла) 17.07.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.08.2020

### Improving the efficiency of composite electromagnetic screens by the adjustment of the ferromagnetic filler morphology

N. Kasatkina, O. Tykhenko, O. Panova, Y. Biruk

**Abstract.** It is established that when designing composite metal-polymer electromagnetic screens it is necessary to take into account the morphology of the particles of the shielding substance - at least the ratio of the length and thickness of individual particles. It is determined that the sharp increase in the protective properties occurs at those concentrations of shielding elements, which provide their contact with each other (critical concentration). The highest critical concentration (up to 47%) corresponds to the ratio between the length and diameter of the particles of 1: 2. The critical concentration decreases monotonically with the increase of the ratio. When the ratio reaches 1:32, it is 15%. The incorrect results of calculating the dielectric constant of composite materials to determine the shielding coefficients, in particular the reflection coefficient of electromagnetic waves, are shown to be the product of the wrong calculation of depolarization coefficients, which are decisive for the determination of the critical volumetric concentrations of conductive substance in the composite matrix. In turn, the value of the critical concentration is included in the Odelevskiy's formula for calculating the dielectric constant of heterogeneous composite materials. The presented calculations on the influence of the shielding elements length to diameter ratio are applicable (prognosis of the functionality) for composites containing the same specially made shielding elements only. The calculation results for conditionally round (point) shielding particles do not coincide with reliable experimental data. For such filler the critical concentration (by weight) is 12–15%. The prediction of the protective properties of composites containing fine substance (particle size below 150–200 μm) should be carried out on the basis of determining the electrophysical properties of the mixture. The adaptation of the Debye's formula for the dielectric constant of the material is offered for such calculations.

**Keywords:** electromagnetic screen, composite material, depolarization coefficient, Debye's formula.

В. П. Романюк<sup>1</sup>, В. М. Триснюк<sup>2</sup>, Т. Л. Куртсеїтов<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ЛІКВІДАЦІ НАСЛІДКІВ ПРИРОДНИХ ТА ТЕХНОГЕННИХ КАТАСТРОФ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

**Анотація.** **Актуальність.** Надзвичайна ситуація – це порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, великою пожежею, застосуванням засобів ураження, що призвели або можуть призвести до людських і матеріальних втрат. Надзвичайна ситуація представляє собою обстановку, викликану випадковими причинами, таку, що приводить до шкідливих соціальних, економічних та екологічних наслідків. У кризовому періоді виконуються рятувальні заходи, що спрямовані на локалізацію наслідків прояву джерел загрози і збільшення живучості регіональних компонентів у зонах ураження. Територіальна розподіленість, різноманітність, багатозв'язність і динамічність уражаючих впливів і захисних заходів значно ускладнюють процеси управління природно-техногенною безпекою. **Метою статті** є формулювання постановки задачі ліквідації наслідків природних та техногенних катастроф на території України, користуючись принципами системного підходу. **Результати дослідження.** У статті сформульована постановка задачі ліквідації наслідків природних та техногенних катастроф на території України. Проведений аналіз проблем управління техногенною безпекою конкретного регіону, де зафіксована надзвичайна ситуація. Отриманий формальний опис досліджуваної системи і оточуючого її середовища, виходячи із принципів системного підходу. Наведена класифікація джерел надзвичайних ситуацій виходячи із причин виникнення, різних видів об'єктів ураження в залежності від характеру поведінки в екстремальних умовах, різні види ресурсів захисту, які реалізують необхідні захисні заходи. Для пошуку оптимального плану застосування сил і засобів системи техногенної безпеки на етапі ліквідації наслідків НС використаний програмно-цільовий підхід до планування з використанням Парето-функції системи. Розглянуті пряма та обернена задачі пошуку оптимального плану. Відбір об'єктів для прямої задачі проводиться в порядку у відповідності до їхньої пріоритетності. При вирішенні оберненої задачі відбір об'єктів проводиться до досягнення заданого рівня системного ефекту, що накопичується в процесі відбору.

**Ключові слова:** природні катастрофи; техногенні катастрофи, цільова ефективність, Парето-функція.

### Вступ

Якщо розглянути в динаміці формування поняття надзвичайної ситуації, то в нормативно-правових джерелах знаходимо наступне визначення: надзвичайна ситуація (НС) – це порушення нормальних умов життя і діяльності людей на об'єкті або території, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, великою пожежею, застосуванням засобів ураження, що призвели або можуть призвести до людських і матеріальних втрати [1]. В [2] уточнюється, що під НС мається на увазі обстановка на певній території, що склалася в результаті катастрофічної події і пов'язана з людськими жертвами, зі шкодою навколишньому природному середовищу та здоров'ю людей, із значними матеріальними втратами та порушенням умов життєдіяльності. В [3] підкреслюється, що це несподівана обстановка, яка виникає раптово і характеризується стрімким порушенням сталого процесу. Автори праці [4] надзвичайною ситуацією називають раптово виниклу ситуацію, яка характеризується значним соціально-екологічним і економічним збитком, необхідністю захисту населення від дії шкідливих для здоров'я факторів (хімічно агресивні і радіоактивні речовини, мікроби, віруси, риккетсії, переохолодження, перегрівання, травмуючі і психогенні фактори), проведення рятувальних, невідкладних медичних і евакуаційних заходів, а також ліквідації негативних наслідків, які склалися. На сьогоднішній день у Кодексі Цивільного захисту України дається таке визначення: «НС – обстановка

на окремій території чи суб'єкті господарювання на ній або водному об'єкті, яка характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричинена катастрофою, аварією, пожежею, стихійним лихом, епідемією, епізоотією, епіфітотією, застосуванням засобів ураження або іншою небезпечною подією, що призвела (може призвести) до виникнення загрози життю або здоров'ю населення, великої кількості загиблих і постраждалих, завданням значних матеріальних збитків, а також неможливістю проживання населення на такій території чи об'єкті, впровадженням на ній господарської діяльності» [5]. Загальним у всіх наведених визначеннях є те, що НС представляє собою обстановку, викликану випадковими причинами, таку, що призводить до шкідливих соціальних, економічних та екологічних наслідків. Звужуючи коло причин НС, будемо розглядати надзвичайні ситуації, які викликані руйнуванням потенційно небезпечних об'єктів або аваріями на даних об'єктах. У кризовому періоді виконуються рятувальні заходи, що спрямовані на локалізацію наслідків прояву джерел загрози і збільшення живучості регіональних компонентів у зонах ураження. Виконувати у післякризовий період відновлювальні заходи покликано ліквідувати наслідки прояву джерел небезпеки і збільшити реабілітованість регіональних компонентів у зонах післядії. У контексті введених понять будемо визначати природно-техногенну безпеку як такий стан компонентів даного регіону, що характеризується наявністю необхідних ресурсів захисту для можливих чи реальних об'єктів-реципієнтів ураження у кожному пері-

оді розвитку будь-яких НС техногенного походження. Територіальна розподіленість, різномірність, багатозв'язність і динамічність уражаючих впливів і захисних заходів значно ускладнюють процеси управління природно-техногенною безпекою.

**Метою статті** є формулювання постановки задачі ліквідації наслідків природних та техногенних катастроф на території України, користуючись принципами системного підходу.

### Виклад основного матеріалу

Аналіз проблем управління техногенною безпекою конкретного регіону, де зафіксована НС, приводить до логічного висновку обрати об'єктом дослідження систему техногенної безпеки та цивільного захисту (органи управління та виконавчі органи з підпорядкованими їм ресурсами), об'єктами застосування якої є:

- об'єкти, що представляють собою джерело техногенних небезпек - потенційно небезпечні об'єкти (ПНО) й об'єкти підвищеної небезпеки (ОПН);
- об'єкти, на які поширюється дія шкідливих факторів в разі реалізації небезпек (об'єкти-реципієнти або об'єкти захисту і відновлення).

Зовнішніми до організаційно-технічної системи, що розглядається, є соціально-економічна система регіону і навколишнє природне середовище.

Отримати опис досліджуваної системи і оточуючого її середовища можна, користуючись принципами системного підходу. Згідно з цими принципами [7] під системою маємо на увазі сукупність об'єктів (компонентів системи) з набором зв'язків між ними та між їхніми властивостями. Крім того, система як складний об'єкт повинна мати такі системні ознаки:

- наявність мети за призначенням;
- наявність системного ефекту, рівень якого пов'язують з досягненням мети;
- наявність ресурсного потенціалу (людські, матеріальні, інформаційні ресурси);
- наявність структури (керуючої і виконавчої частин, пристосованих до продукування системного ефекту);
- наявність процесу (перетворення ресурсного потенціалу в системний ефект);
- наявність цілеспрямованого управління (алгоритму);
- наявність емерджентності.

При описі компонентів системи, їхніх властивостей та зв'язків треба враховувати основну особливість системного підходу, яка полягає в тому, що всі складові системи функціонують як єдине ціле заради загальної мети. Функціонування системи техногенної безпеки здійснюється безперервно з метою запобігання надзвичайним ситуаціям або ліквідації їх наслідків. Це дозволяє при аналізі системи виділити тільки певні властивості об'єктів і зв'язки, які є суттєвими в даному контексті. Тому, насамперед, необхідно визначити поняття надзвичайної ситуації. Для зменшення цієї складності класифікуємо і структуруємо фактори ураження і захисту, які суттєво впливають на прийняття управлінських рішень

в НС. За причинами виникнення розрізняються НС техногенного, природного, соціально-політичного і військового походження [6, 8].

Техногенні джерела ( $V_1$ ) проявляються у вигляді аварій на об'єктах, продукція або технологічні процеси яких пов'язані з використанням високого тиску, значних енергетичних потужностей, агресивних, вибухонебезпечних чи легкозаймистих речовин. Для України реальну загрозу становлять такі види аварій:

- на хімічно, радіаційно і біологічно небезпечних виробництвах при ушкодженні технологічного обладнання, несправній системі запуску, контролю і відключення, помилках обслуговуючого персоналу;
- на залізничному, автомобільному, повітряному і водному транспорті при розгерметизації ємностей для перевезення небезпечних речовин або при порушенні правил транспортування;
- на газо-, нафто-, електро-, тепло-, водо- і каналізаційних мережах при їхньому пошкодженні або руйнуванні;
- на гідротехнічних спорудах при прориві напірних гребель, захисних дамб або водопропускних шлюзів;
- на будівельних об'єктах при руйнуванні виробничих споруд або житлових будинків, залізничних та автодорожніх мостів.

Природні джерела ( $V_2$ ) зумовлені руйнівними стихійними явищами, серед яких реальну загрозу для України становлять:

- геологічні, у вигляді землетрусів, зсувів, провалів і карсту;
- гідрологічні, у вигляді селів, підтоплень, паводків і повеней;
- метеорологічні, у вигляді циклонів, ураганів, смерчів, хуртовин, снігопадів, ожеледі, злив, градобою, заморозків й посух;
- геліофізичні, у вигляді природних пожеж, включаючи лісові, степові і торф'яні;
- астрофізичні, у вигляді гравітаційних, магнітних і електромагнітних збурень від космічних об'єктів і випромінювань.

Екологічні джерела ( $V_3$ ) виникають внаслідок надмірного антропогенного навантаження на навколишнє середовище, в Україні спостерігаються такі:

- у літосфері — деградація ґрунтів, виснаження надр, зменшення захисних лісосмуг;
- у гідросфері — забруднення, заболочення, і пересихання водоймищ, рік і озер;
- в атмосфері — руйнування озонового шару, збільшення кислотних дощів, зростання концентрації токсичних і радіоактивних речовин;
- у біосфері — втрата генофонду, зменшення біопродуктивності, зростання отруєнь, епідемій, епізоотій та епіфітотій;
- в екосфері в цілому — руйнування самовідновлюючих (рекреаційних) природних механізмів.

Соціальні джерела ( $V_4$ ) є результатом взаємовпливу економічних, політичних, психологічних, інформаційних та інших факторів і передумов. Серед крайніх проявів соціальних конфліктів, що ста-

новлять потенційну загрозу для України, вирізняються такі:

- страйки, акти саботажу і громадської непокори;
- погроми і прояви організованої злочинності;
- терористичні акти;
- диверсійні операції;
- масові психічні захворювання.

Військові джерела ( $V_3$ ) пов'язані з використанням засобів збройного протиборства під час прикордонних конфліктів і в локальних війнах, а також у стратегічних планах глобальної конфронтації. Серед цих засобів розрізняються такі:

- звичайна і високоточна зброя;
- боєприпаси об'ємного вибуху, запальні, фугасні, осколкові, кулькові, кумулятивні і бетонобійні;
- ядерна зброя;
- хімічна зброя;
- бактеріологічна зброя.

У загальному випадку можливий взаємозумовлений комбінований прояв різних джерел небезпеки.

За несприятливими наслідками розрізняються НС, що призводять до людських жертв, збитків господарським об'єктам та ураження природного середовища. Залежно від характеру поведінки в екстремальних умовах спостерігаються різні види об'єктів ураження.

Серед населення ( $X_1$ ) розрізняються:

- непрацездатні, включаючи дітей, старих і тяжко хворих;
- працівники виробничої сфери;
- працівники сфери послуг;
- невоєнізовані формування;
- воєнізовані формування (Збройні сили України, Національна гвардія України, Прикордонна служба України, Державна служба України з надзвичайних ситуацій).

Серед господарських об'єктів ( $X_2$ ) можна виділити такі:

- об'єкти критичної інфраструктури;
- об'єкти виробничої сфери;
- об'єкти сфери послуг;
- історико-культурні цінності;
- науково-технічну документацію;
- коштовне технологічне обладнання.

У природному середовищі ( $X_3$ ) вирізняються:

- представники тваринного світу (фауна);
- представники рослинного світу (флора);
- водні джерела;
- корисні копалини;
- заповідні зони.

За протидіючими чинниками розрізняються НС, що спричиняють використання різних видів ресурсів захисту, які реалізують необхідні захисні заходи.

Розвідувально-контролюючі ресурси ( $Z_1$ ) призначені для ведення розвідки і контролю за станом і зміною обстановки в зонах можливого чи реального прояву уражаючих впливів за допомогою військових формувань:

- інженерної розвідки для виявлення меж і ступеня руйнування житлових будинків і виробни-

чих споруд, визначення вторинних наслідків уражаючих впливів, знаходження місць перебування потерпілих і підходів до них;

- хімічної розвідки для виявлення меж хімічного зараження, визначення концентрації отруйних речовин і напрямку поширення зараженого повітря, спостереження і лабораторного контролю за зміною хімічної обстановки;

– радіаційної розвідки для виявлення меж і рівнів радіоактивного забруднення, встановлення режимів радіаційного захисту, спостереження і дозиметричного контролю за зміною радіаційної обстановки;

- медичної розвідки для виявлення постраждалих людей, визначення їхнього стану й умов надання першої медичної і лікарської допомоги;

– ветеринарної та агротехнічної розвідки для виявлення постраждалих тварин і рослин, визначення їхнього стану й умов надання ветеринарної й агротехнічної допомоги.

Інженерно-технічні ресурси ( $Z_2$ ) спрямовані на зменшення збитків господарським об'єктам (захист техносфери) за допомогою формувань:

- інженерного захисту для підвищення фізичної стійкості виробничих споруд і житлових будинків, будівництва й обслуговування захисних споруд, розчищення проходів і розбирання завалів, облаштування під'їзних шляхів і маршрутів евакуації;

– хімічного захисту для забезпечення населення індивідуальними засобами захисту, локалізації вогнищ викиду й обваловки місць розливу отруйних речовин, дегазації прилягаючої місцевості, приміщень, устаткування, одягу і продуктів харчування;

– радіаційного захисту для забезпечення населення протирадіаційними сховищами, організації йодної профілактики, збору і поховання небезпечних радіоактивних осколків, дезактивації прилягаючої місцевості;

– пожежного захисту для забезпечення господарських об'єктів засобами автоматичної сигналізації і пожежогасіння, локалізації і ліквідації пожеж у житлових будинках і виробничих спорудах, боротьби з лісовими, степовими, торф'яними і підземними пожежами;

– технічного захисту для підвищення безпеки технологічного обладнання за допомогою засобів автоматичного контролю і відключення, виконання профілактичних і ремонтно-відновлювальних робіт на комунально-енергетичних мережах, а також для ремонту транспортної, інженерної, протипожежної та іншої техніки.

Медико-біологічні ресурси ( $Z_3$ ) спрямовані на зменшення негативних наслідків для населення, тварин і рослин (захист біосфери), за допомогою формувань:

- медичного захисту для надання першої медичної і лікарської допомоги постраждалим безпосередньо в зонах ураження, посадки їх на транспорт і супроводу під час евакуації;

– лікарського захисту для надання спеціалізованої медичної допомоги і стаціонарного лікування

потерпілих за межами зон ураження в клініках, лікарнях і шпиталях;

- епідеміологічного захисту для санітарного очищення зон ураження, профілактики і лікування інфекційних захворювань;

- ветеринарного захисту для санітарної обробки і лікування тварин, локалізації і ліквідації епізоотій;

- агротехнічного захисту для знезаражування рослин і фуражу, локалізації і ліквідації епіфітотій.

Транспортно-комунікаційні ресурси ( $Z_4$ ) забезпечують переміщення об'єктів біо- і техносфери усередині і поза зонами ураження за допомогою різних видів транспорту і засобів зв'язку. Для цього залучаються формування:

- забезпечення евакуації потерпілих;
- забезпечення передислокації формувань;
- забезпечення підвозу матеріально-технічних засобів;

- забезпечення підвозу води, продуктів харчування і предметів першої необхідності;

- забезпечення евакуації унікального обладнання і культурних цінностей.

Матеріально-продовольчі ресурси ( $Z_5$ ) забезпечують процеси виконання захисних заходів необхідними матеріалами і засобами за допомогою формувань:

- матеріального забезпечення для зберігання і розподілення будівельних, дегазаційних, медичних та інших матеріалів і засобів;

- енергозабезпечення для заправлення транспорту горючо-мастильними матеріалами, підзарядки і заміни акумуляторних батарей, організації автономного електроживлення;

- речового забезпечення для зберігання і розподілення спецодягу серед особового складу формувань і предметів першої необхідності серед евакуйованого населення;

- комунального забезпечення для розселення і комунально-побутового обслуговування евакуйованого населення;

- продовольчого забезпечення для зберігання і розподілення продуктів харчування серед формувань і населення.

При пошуку оптимального плану застосування сил і засобів системи техногенної безпеки на етапі ліквідації наслідків НС доцільно використовувати програмно-цільовий підхід до планування. Початковим етапом циклу планування є розробка мети програми (цілеполягання). Головною системною метою програми робіт з ліквідації наслідків НС вважаємо підвищення їхньої цільової ефективності. Першим показником ефективності є  $F$  – значення очікуваного системного ефекту (зменшення збитку від наслідків НС) програми робіт з ліквідації наслідків НС. Другим показником ефективності програми треба вважати витрати бюджетних ресурсів  $B$ , якими досягнуто значення першого показника. Тоді ефективність цільової програми оцінюється як

$$e_{OI} = F/B . \quad (1)$$

Постановка задачі розробки оптимальної програми робіт з ліквідації наслідків НС: на множині планів використання бюджетних ресурсів  $\mathfrak{R} = \{R_i\}$ , кожний з елементів  $R_i$  задовольняє системі обмежень на застосування ресурсів (тобто належить області припустимих рішень):

$$G(R_i) < G_O, \quad (2)$$

знайти такий (оптимальний) план  $R_O$ , що максимізує ефективність програми

$$e_{OI}(R_O) = \frac{F(R_O)}{B(R_O)} = \max e_{OI} . \quad (3)$$

Побудуємо область припустимих рішень на Парето-функції системи (рис. 1).

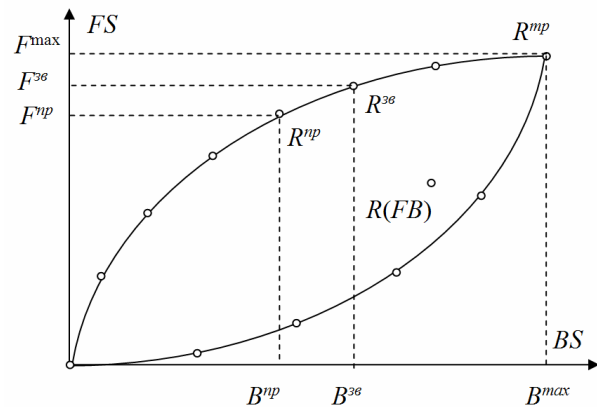


Рис. 1. Область припустимих рішень на Парето-функції системи

На рис. 1 позначено:  $BS$  – бюджетні витрати на програму,  $FS$  – цільовий ефект, що досягнуто витратами  $BS$ . Природно, що існує множина можливих планів  $\mathfrak{R}$ , кожний з елементів котрої представляється точкою з координатами  $R(F, B)$ .

Очевидно, що для кожної точки області припустимих рішень  $F$  планом  $R$  цілком визначається рівень використання ресурсів  $B$ . Множина "ефективних" планів, для котрих співвідношення  $(F/B)$  є найкращим, – ліва верхня межа області припустимих планів, бо кожний ефективний план переважає за  $F$  рівноцінні йому плани зв  $B$  або поступається за  $B$  рівноцінним планам за  $F$ .

Множина ефективних планів складає множину Парето, що утворює функцію Парето  $F(B)$ .

Оскільки прагнення підвищення ефективності системи обмежується точкою  $R^{mp}(F^{max}, B^{max})$  як планом "абсолютної досконалості" системи, то потрібних для цього бюджетних коштів  $B^{max}$  може не вистачити, і треба трохи "поступитися" цільовим ефектом  $F$ .

Якщо можливі витрати  $B^{np}$ , то їм відповідає значення Парето-функції  $F^{np}$ , що є результатом вирішення "прямої" задачі оптимального планування використання обмежених ресурсів, що максимізує ефект.

Якщо значення  $F^{np}$  не задовольняє і його можна підвищити до  $F^{zg}$ , то новому  $F^{zg}$  відповідає нове зна-

чення витрат бюджету  $B^{36}$ , що є результатом вирішення "оберненої" задачі оптимального використання ресурсів, що мінімізує потрібний бюджет. Такий підхід визначає компромісний рівень цільового ефекту програми і бюджет для його досягнення.

### Висновки

У статті сформульована постановка задачі ліквідації наслідків природних та техногенних катастроф на території України. Проведений аналіз проблем управління техногенною безпекою конкретного регіону, де зафіксована надзвичайна ситуація. Отриманий формальний опис досліджуваної системи і оточуючого її середовища, виходячи із принципів системного підходу.

Наведена класифікація джерел надзвичайних ситуацій виходячи із причин виникнення, різних видів об'єктів ураження в залежності від характеру

поведінки в екстремальних умовах, різні види ресурсів захисту, які реалізують необхідні захисні заходи. Для пошуку оптимального плану застосування сил і засобів системи техногенної безпеки на етапі ліквідації наслідків НС використаний програмно-цільовий підхід до планування з використанням Парето-функції системи.

Розглянуті пряма та обернена задачі пошуку оптимального плану. Відбір об'єктів для прямої задачі проводиться в порядку у відповідності до їхньої пріоритетності (рангу). При вирішенні оберненої задачі відбір об'єктів проводиться до досягнення заданого рівня системного ефекту, що накопичується в процесі відбору.

**Напрямок подальших розвідок** – розробка імітаційної макроекономічної моделі для пошуку оптимального плану застосування сил і засобів системи техногенної безпеки на етапі ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України "Про Цивільну оборону України" від 28.02.1991 р.
2. Гусев А.А., Козьменко С.Н., Козьменко О.В. Чрезвычайные ситуации: экономический ущерб и инвестиции в предупреждение // Экономика и математические методы, 2000. – Т.36, №1. – С.36-46.
3. Белов П.Г. Моделирование опасных процессов в техносфере: Методическое пособие. – К.: КМУГА, 1999. – 124 с.
4. Загальні вимоги до розвитку і розміщення потенційно небезпечних виробництв з урахуванням ризику надзвичайних ситуацій техногенного походження/ НАН України, Рада по вивченню продуктивних сил України. Наукові керівники: чл.-кор. НАН України С.І. Дорогунцов і генерал-лейтенант В.Ф. Гречанинов. – К., 1995. – 120 с.
5. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI (Редакція від 12.05.2017)
6. Биченок М.М. Основи інформатизації управління регіональною безпекою. /М.М. Биченок, С.О. Довгий – К.: Наук. думка, 2004. –287 с.
7. Системный анализ и структуры управления. (Книга восьмая). Под общей редакцией проф. В.Г. Шорина. – М.: Знание, 1975. – 304 с.
8. Михайлова А.В., Чумаченко С.М. Особливості класифікації джерел небезпеки, що призводять до надзвичайних ситуацій воєнного характеру // Зб. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика», 21-22 листопада 2019, Харків, НУЦЗУ. – С. 51-53.

Received (Надійшла) 12.05.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.08.2020

### Statement of the consequences liquidation problem of natural and technogenic disasters on the Ukraine territory

V. Romanyuk, V. Trisnyuk, TL Kurtseitov

**Abstract. Topicality.** An emergency is a violation of normal living conditions and activities of people on the site or territory, caused by an accident, catastrophe, natural disaster, epidemic, epizootic, epiphytosis, large fire, the use of means of destruction that have caused or may lead to human and material losses. An emergency is a situation caused by accidental causes, such that it leads to harmful social, economic and environmental consequences. In the crisis period, rescue measures are carried out aimed at localizing the consequences of the threat and increasing the survivability of regional components in the affected areas. Territorial distribution, heterogeneity, multi-connectedness and dynamism of impact and protection measures significantly complicate the processes of natural and man-made safety management. **The purpose of the article** is to formulate the problem of eliminating the consequences of natural and man-made disasters in Ukraine, using the principles of a systematic approach. **Results of the research.** The article formulates the problem of liquidation of the consequences of natural and man-made disasters on the territory of Ukraine. The analysis of problems of management of technogenic safety of concrete region where the emergency situation is fixed is carried out. A formal description of the studied system and its environment is obtained, based on the principles of the system approach. The classification of sources of emergencies based on the causes, different types of objects of damage depending on the nature of behavior in extreme conditions, different types of protection resources that implement the necessary protective measures. To find the optimal plan for the use of forces and means of the technogenic safety system at the stage of emergency response, a program-targeted approach to planning using the Pareto function of the system was used. The direct and inverse problems of finding the optimal plan are considered. The selection of objects for a direct task is carried out in order according to their priority. When solving the inverse problem, the selection of objects is carried out to achieve a given level of system effect, which accumulates in the selection process.

**Keywords:** natural disasters; man-made disasters, target efficiency, Pareto function.

# Зв'язок, телекомунікації та радіотехніка

UDC 621.396.677.494

doi: 10.26906/SUNZ.2020.3.124

O. Besova<sup>1</sup>, V. Karlov<sup>1</sup>, O. Lukashuk<sup>1</sup>, I. Petryshenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kharkiv National Air Force University of Ivan Kozhedub, Kharkiv, Ukraine

<sup>2</sup> Odessa Military Academy, Odessa, Ukraine

## DIAGNOSTICS OF HEADLIGHTS FROM NEAR AREA ON PLACE OF BASING

**Abstract.** Methods of microwave diagnostics of a phased array allow reconstructing the amplitude-phase distribution in the antenna and implement on this basis methods for adapting the lattice control to those found in the amplitude-phase distribution to defects. The methods of microwave diagnostics from the near zone described in the well-known literature are realizable only in anechoic chambers or on specially equipped training grounds. To solve the problems of adapting a phased antenna array to a technical state and increasing its operating time under extreme conditions, it is necessary to have methods of integrated microwave diagnostics of a phased antenna array at its location. **The aim of the article** is to develop a method for microwave diagnostics of a phased array antenna, implemented from the near zone of the antenna at its location, and eliminating the influence of echo signals (ES) on the diagnostic results. The article proposes a method for microwave diagnostics of a phased array antenna from the near field, which allows to exclude the influence on the accuracy of diagnostics of the echo signal present at the measuring site and errors in the positioning of the measuring probe. The proposed method will make it possible to implement microwave diagnostics of the antenna from the near field at its location. The results of microwave diagnostics are supposed to be used to implement various methods of adapting a phased array to a technical condition, significantly increasing its life.

**Keywords:** antenna measurements, phased array antenna diagnostics, near field, microwave diagnostics

### Introduction

The methods of control of phased antenna array (PAA) can conditionally be divided into methods of built-in control and methods of bench (polygon) tests. The first are implemented by control systems for amplitude-phase distribution (APD) control systems integrated into the phased antenna array and built-in factor control systems that distort the amplitude-phase field distribution in the antenna aperture [1].

The methods of stand (ground) tests of aerial include microwave diagnostics of main control nodes PAA – phase shifters (FS) and controlled attenuators (CA). These methods are described in [2-5] and realized both from a near area [2, 3] and from a distant area [4, 5]. The basis of all these methods is the transmission coefficient measurement procedure microwave canal between the generator of the probe signal supplying the phased antenna array in transmission mode and the output of the measuring probe located in the near or far zone of the antenna under study. Methods differ by the plans of management diagnostics and methods of treatment of results of measuring's.

Advantage of methods of built-in control is circumstance that they are realized practically at any time in place of basing of PAA. Failing – methods do not give information about indeed realized in the aperture of aerial of APD. Only the number and channel numbers of the phased array are known, in which microwave devices fail.

Methods of microwave diagnostics of a phased array allow reconstructing the amplitude-phase distribution in the antenna and implement on this basis methods for adapting the lattice control to those found in the

amplitude-phase distribution to defects, for example, as in [1, 5]. The methods of microwave diagnostics from the near zone described in the well-known literature [2, 3] are realizable only in anechoic chambers or on specially equipped training grounds.

To solve the problems of adapting a phased antenna array to a technical state and increasing its operating time under extreme conditions, it is necessary to have methods of integrated microwave diagnostics of a phased antenna array at its location.

**The aim of the article** is to develop a method for microwave diagnostics of a phased array antenna, implemented from the near zone of the antenna at its location, and eliminating the influence of echo signals (ES) on the diagnostic results.

**Analysis of literature.** Diagnostics of PAA from a near area is described in [2, 3], and from a distant area and in presence ES [6].

Using the method of measuring the transfer coefficient between the investigated phased antenna array and the probe in the near field [2,3] and the method of accounting for ES from [6], it is possible to decide set the problem of diagnostics of PAA from the near zone in the presence of ES.

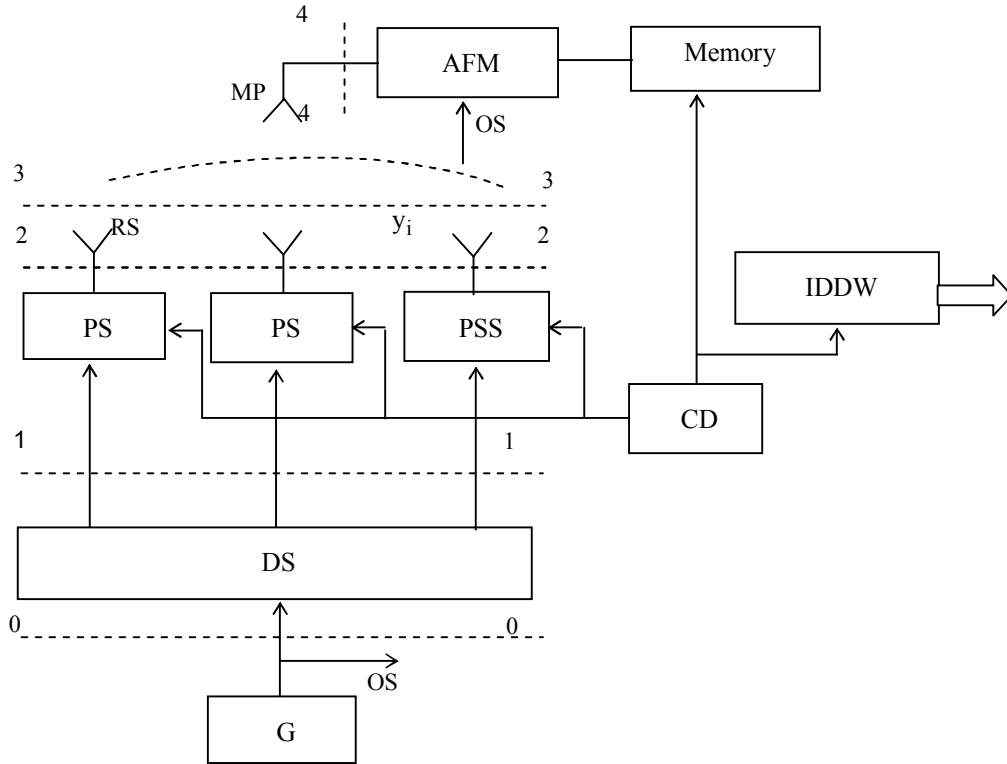
### Main material

The structural diagram of the measuring and computing system and the studied represented by Fig. 1.

The measuring probe is located in the direction normal to the aperture of the phased antenna array under study at a distance  $r_0$  (in the near zone). The selection criterion  $r_0$  is described in [2].

Imagine the transmission coefficient of the emitter paths (from the output of the probe signal generator to





**Fig. 1.** Block diagram of the measuring and computing system of the integrated PAA control by the DPU method (G - generator; DS - distribution system; PS - phase shifter; RS - radiating system; MP - measuring probe; AFM - amplifazometr; Memory - storage device; IDDW - inverse DDW; CD - control device)

the emitter input)  $I_{ei}(\theta_\phi)$  as the ratio of the excitation current to the complex amplitude (CA) of the PS, Fig. 1:

$$I_{ei}(\theta_\phi) = K_{\rho i} \Phi_i(\theta_\phi) [1 - \Gamma_i(\theta_\phi)], \quad i \in 0, N-1; \quad (1)$$

where  $\theta_\phi$  – grating phasing direction;  $K_{\rho i}$  – TC of the distributive system;  $\Phi_i(\theta_\phi)$  – TC phase shifter when the beam is oriented in the direction  $\theta_\phi$ ;  $\Gamma_i(\theta_\phi)$  – reflection coefficient in the path of the  $i$ -th emitter due to the mutual coupling of emitters [7];  $N$  – a number of emitters in PAA.

In default of ES in MP pointed EMF [2, 3]:

$$X(\theta_\phi) = \sum_i I_{ei}(\theta_\phi) G_i(\theta_i) \rho_i(\theta_i), \quad i \in 0, N-1; \quad (2)$$

where  $G_i(\theta_i)$  – counting the complex amplitude of the radiation pattern of the  $i$ -th emitter in the direction of the vector  $\vec{r}_i$ , connecting an  $i$ -th emitter with MP;  $\rho_i(\theta_i)$  – TC from the output of  $i$ -th emitter to the exit MP; numeral, concordantly [2]:

$$\rho_i(\theta_i) = \frac{\sqrt{K_z}}{2k_0 r_i} \exp(-\gamma k_0 r_i) g_z(-\theta_i), \quad (3)$$

where  $r_i$  – distance between an  $i$ -th by an emitter and MP;  $K_z, g_z$  – an amplification factor and rationed radiation pattern MP;  $k_0 = 2\pi\lambda^{-1}$  – wave number.

In the presence of an echo of the signal (2) can be represented as:

$$X_z(\theta_\phi) = \sum_i I_{ei}(\theta_\phi) G_i(\theta_i) \rho_i(\theta_i) M_i, \quad (4)$$

where  $M_i = 1 + \mu_i = 1 + \sum_u \rho_{ui} R_{ui} G_{ui} / \rho_i G_i$ ,  $(5)$

$u \in 1, U$  – numbers of sources of ES;  $\rho_{ui}$  – TC from the source of  $u$ -th ES to MP;  $R_{ui}$  – reflectivity PS of  $i$ -th channel from the source of  $u$ -th ES;  $G_{ui}$  – numeral value radiation pattern  $i$ -th emitter in the direction of source of  $u$ -th ES.

Complex coefficients  $\mu_i$  unknown and depend on the number and coordinates of discrete points of formation of ES, as well as reflection coefficients in them  $R_{ui}$ . Such presentation  $M_i$  is comfortable that a size  $M_i$  does not depend on amplitude and phase of PS (it remained in a multiplier  $I_{ei}(\theta_\phi)$ ).

From (4) it is necessary that the presence of ES on a measuring ground results in distortion of response of probe. The combined action of ES can be compared to appearance on an entrance MP a modulating hindrance  $M_i$ , distorting the response of probe on a radiation from every channel of PAA. The purpose of diagnostics is determination of TC phase shifter  $\Phi_i(\theta_\phi)$ , reflectivities in highways emitters  $\Gamma_i(\theta_\phi)$  and integral TC each of microwave paths

$$K_i(\theta_\phi) = K_{pi} \Phi_i(\theta_\phi) [1 - \Gamma_i(\theta_\phi)] G_i(\theta_\phi) = I_{ei}(\theta_\phi) G_i(\theta_\phi). \quad (6)$$

If there is a priori information about  $K_{pi}$  and  $G_i(\theta)$  numeral values  $K_i(\theta_\phi)$  can be reconstructed by measurement  $\Phi_i(\theta_\phi) [1 - \Gamma_i(\theta_\phi)]$  for each of the phasing directions.

Consider a diagnostic management plan that allows from the total response of the probe  $X_z(\theta_\phi)$  to select  $K_i(\theta_\phi)$ .

It consists in the organization of measurement experiments, representing a consistent in time application of the direct discrete Walsh transform (DDW) to radiated PAA to the soundings signals [4, 5]

$$Y_r(\theta) = \sum_i I_{ei}(\theta_\phi) G_i(\theta_i) w_{ri} \rho_i(\theta_i) M_i, \quad (7)$$

where  $r \in 0, N-1$ ;  $Y_r(\theta)$  – respond MP on r-th direct DDW;  $w_{ri}$  – walsh functions ordered by Hadamard or Paley and taking only two values (+1) or (-1), [8];  $n_r$  – CA noise (including measuring errors) at measuring  $Y_r$ . The functions  $w_{ri}$  of PS PAA will be realized  $w_{ri}$ , thus (+1) corresponds the change of phase in an i-th channel on  $0^\circ$ , and (-1) – to the phase shift on  $180^\circ$ .

Numeral values  $Y_r(\theta)$  must be fixed in storages of data (ZU, fig.1).

After completing N direct procedures DDW to the vector  $Y_r(\theta)$  it is necessary to apply procedure of inverse DDW. The result is a vector of estimates

$$\hat{y}_i(\theta) = N^{-1} \sum_i Y_r(\theta) w_{ri} = I_{ei}(\theta_\phi) G_i(\theta_i) \rho_i(\theta_i) M_i + \hat{n}_i, \quad (8)$$

where  $\hat{n}_i = N^{-1} \sum_r n_r w_{ri}$ .

For a selection from (8) an interesting us multiplier  $I_{ei}(\theta_\phi)$  a next reception is offered. All of PS of grate simultaneously translated in one of  $n \in 0, L-1$  (where  $L = 2^m$ , m – number of digits of PS) the states. This means phasing the antenna in the direction  $\theta_\phi = 0$ , but all of PS here are in n-th the state. Estimates of the responses of the measuring probe

$$\hat{y}_i(0, n) = I_{ei}(0, n) G_i(\theta_i) \rho_i(\theta_i) M_i. \quad (9)$$

Consider the relationship  $\hat{y}_i(0, n)$  to  $\hat{y}_i(0, 0)$ , where  $\hat{y}_i(0, 0)$  respond MP when zeroed (de-energized) PS, will get

$$\gamma_{i,n} = \frac{\hat{y}_i(0, n)}{\hat{y}_i(0, 0)} = \frac{I_{ei}(0, n)}{I_{ei}(0, 0)}$$

$$= \Phi_i(0, n) [1 - \Gamma_i(0, n)] / (\Phi_i(0, 0) [1 - \Gamma_i(0, 0)]). \quad (10)$$

Reflection coefficients (RC)  $\Gamma_i(0, n)$  and  $\Gamma_i(0, 0)$  characterize reflections in the PAA when the beam is oriented normal to the antenna aperture. In this position of the beam, as a rule, emitters with their paths are matched  $\Gamma_i(0, n) = \Gamma_i(0, 0) \approx 0$ . Therefore, from (10) we obtain that the desired TC PS:

$$\Phi_i(0, n) = \Phi_i(0, 0) \gamma_{i,n}. \quad (11)$$

In relation (11)  $\gamma_{i,n}$  – measured response relationship MP, and TC PS  $\Phi_i(0, 0)$  stored in processor memory of CSL. This means that unknown TC PS in all their states and in each channel  $\Phi_i(0, n)$  can be reconstructed and also stored in processor memory CSL.

When phasing the antenna in the direction  $\theta_\phi$  PS of every channel will be translated in one of great number of L of the states, i.e.  $I_{ei} = I_{ei}(\theta_\phi, n)$ . Then

$$\gamma_{i,n}(\theta_\phi) = \frac{\hat{y}_i(\theta_\phi, n)}{\hat{y}_i(0, 0)} = \frac{\Phi_i(\theta_\phi, n)}{\Phi_i(0, 0)} [1 - \Gamma_i(\theta_\phi, n)]. \quad (12)$$

From this relation it is easy to determine the reflection coefficient in the channels when phasing the antenna in the direction  $\theta_\phi$

$$\Gamma_i(\theta_\phi) = 1 - \gamma_{i,n}(\theta_\phi) \frac{\Phi_i(0, 0)}{\Phi_i(\theta_\phi, n)}. \quad (13)$$

A remarkable property of the proposed diagnostic method is that the accuracy of the estimates of the transmission coefficients of the phase shifters and reflection coefficients in the channels is practically independent of the presence of an echo signal at the measuring site, the accuracy of positioning with a measuring probe, and the accuracy of the information about the radiation pattern of the emitters in the grating  $G_i(\theta_i)$ .

The method is implemented in gratings agreed in the direction normal to its aperture and in the presence of a priori information about the phase shifter transmission coefficient in the initial (de-energized) state.

In the presence of a priori information about the radiation pattern of emitters  $G_i(\theta)$ , (obtained from another experiment, for example [9-16]), it becomes possible to reconstruct the integral TC i-th canal from the input of the distribution system to the output of the emitter

$$K_i(\theta_\phi, n) = I_{ei}(\theta_\phi, n) G_i(\theta_\phi), \quad (14)$$

where  $I_{ei}(\theta_\phi, n) = \Phi_i(\theta_\phi, n) [1 - \Gamma_i(\theta_\phi, n)]$ .

Availability of information on  $\Phi_i(\theta_\phi, n)$ ,  $\Gamma_i(\theta_\phi)$ ,  $K_i(\theta_\phi, n)$  allows you to implement the adaptation of the phased antenna array to the technical con-

dition according to the criterion of maximum approximation of the realized and desired amplitude-phase distribution in the aperture of the array.

### Conclusion

Thus, a methodology for controlling microwave diagnostics of a phased antenna array is proposed,

which eliminates the influence on the accuracy of diagnosis of the echo signal. Analyzing the results of microwave diagnostics, the proposed technique can be used to implement various methods of adapting a phased antenna array to a technical condition. In this case, the life of the antenna array will increase significantly.

### REFERENCES

1. Shishov, Yu.A., Golik, A.M. (1990), "Adaptatsiya upravleniya FAR po rezul'tatam vstroennogo kontrolya" [Adaptation of the PAR control according to the results of the built-in control], *Foreign Electronics*, No. 9, p. 699.
2. Bubnov G.G., Nikulin, S. M., Seryakov, Yu. N. (1988), "Kommutatsionnyy metod y'zmereny'ya kharakterystyk FAR" [The switching method of measuring the characteristics of the PAR], *Radio and communications*, 120 p.
3. Voronin, E.N., Nechaev, E.E., Shashenkov, V.F. (1995), "Rekonstruktivnyye antennoye izmereniya" [Reconstructive antenna measurements], Moscow, 352 p.
4. Shifrin, Ya.S., Liepin U.R. (2000), "Besfazovyye metody diagnostiki fazirovannykh antennoykh reshetok" [Phaseless diagnostic methods for phased antenna arrays], *Antennas*, No. 1 (44), pp. 84-99.
5. Voskresensky, D.I., Kanaschenkova, A.I. (2004), "Aktivnyye fazirovannyye antennoye reshetk" [Active phased antenna arrays], *Radio engineering*, p.351-370.
6. Nikolsky, V.V., Nikolskaya, T.I. (1989), "Elektrodinamika i rasprostraneniye radiovoln" [Electrodynamics and radio wave propagation], Nauka, 544 p.
7. Voskresensky, D.I. et al (1988), "Avtomatizirovannoye proektirovaniye antenn i ustroystv SVCH" [Computer-aided design of antennas and microwave devices], *Radio and Communications*, 240 p.
8. Harmut, H. (1980), "Teoriya sekventnogo analiza. Osnovy ee primeneniya" [Theory of sequential analysis. The basics of its application.], Moscow, Mir, 574 p.
9. Karlov, V. D., Lukashuk, O.V. (2008), "K voprosu ob ispolzovanii antennoykh sistem v nazemnykh stantsiyakh sputnikovoy svyazi" [On the use of antenna systems in satellite ground stations], *Information Processing Systems*, No. 2(69), pp.57 - 62.
10. Kovalenko, A. and Kuchuk H. (2018), "Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object's control system", *Advanced Information Systems*, 2018, Vol. 2, No. 1, pp. 22–27, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
11. Sviridov, A., Kovalenko, A. and Kuchuk, H. (2018), "The pass-through capacity redevelopment method of net critical section based on improvement ON/OFF models of traffic", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 139–144, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
12. Kuchuk, G.A., Kovalenko, A.A. and Lukova-Chujiko, N.V. (2017), "A method for minimizing the average latency of packets in the virtual connections of the cloud service support network", *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, No. 2 (42),- pp. 117–120.
13. Donets V., Kuchuk N., Shmatkov S. Development of software of e-learning information system synthesis modeling process. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 117–121. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20>
14. Mozhaiev, M., Kuchuk, N. and Usatenko, M. (2019), "The method of jitter determining in the telecommunication network of a computer system on a special software platform", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, (4) (10), pp. 134-140. doi: 10.30837/2522-9818.2019.10.134
15. Nechausov A., Mamusuĭ I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21 – 26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
16. Liepin, U.R., Svitenko, N.I. (2005), "Metod izmereniya diagramm napravlenosti izluchateley v sostave FAR" [The method of measuring the radiation patterns of emitters in the headlamp], *Successes of modern radio electronics*, No. 7, pp. 10-14.

Received (Надійшла) 19.05.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.07.2020

### Діагностика фазованих антенних решітки з ближньої зони на місці базування

О. В. Бесова, В. Д. Карлов, О. В. Лукашук, І. М. Петрушенко

**Анотація. Актуальність.** Методи мікрохвильової діагностики фазованого рентгенівського випромінювання дозволяють реконструювати амплітудно-фазовий розподіл в антені та реалізувати на цій основі методи адаптації управління ґратами до тих, що знаходяться в амплітудно-фазовому розподілі, до дефектів. Методи мікрохвильової діагностики з ближньої зони реалізуються лише в безехових камерах або на спеціально обладнаних тренувальних майданчиках. Для вирішення проблем адаптації фазованої антенної решітки до технічного стану та збільшення часу її роботи в екстремальних умовах необхідно мати методи інтегрованої мікрохвильової діагностики фазованої антенної решітки на її місці. **Метою статті** є розробка методу мікрохвильової діагностики фазованої решіткової антени, реалізованої з ближньої зони антени в її розташуванні, та усунення впливу ехосигналів на результати діагностики. **Результати.** У статті пропонується метод НВЧ діагностики фазованої антенної решітки з ближньої зони, що дозволяє виключити вплив на точність діагностики віддуння сигналу, присутніх на вимірювальній майданчику, і похибок в позиціонуванні вимірювального зонда. **Висновки.** Запропонований метод дасть можливість реалізувати НВЧ діагностику антени з ближньої зони, на місці її базування. Результати НВЧ діагностики передбачається використовувати для реалізації різних способів адаптації фазованої антенної решітки до технічного стану, помітно збільшуючи термін її експлуатації.

**Ключові слова:** антенні вимірювання, діагностика ФАР, ближня зона, НВЧ.

С. В. Індик, В. П. Лисечко

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

## МЕТОД ПЕРЕСТАНОВКИ ІНТЕРВАЛІВ З ВРАХУВАННЯМ ВЗАЄМОКОРЕЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СЕГМЕНТІВ

**Анотація.** Актуальною задачею є розробка нових методів перестановки інтервалів з врахуванням взаємокореляційних властивостей кожного сегменту. Тому необхідно розробити новий метод перестановок часових інтервалів, який забезпечить підвищення об'єму ансамблів з урахуванням значень рівня завад множинного доступу. Розроблений метод базується на застосуванні взаємокореляційних властивостей часових інтервалів шляхом поетапного перебору. Часові інтервали кодових послідовностей відеоімпульсів з низькою взаємодією у часовій області піддаються кореляційному аналізу. У розробленому методі перестановок було здійснено перебір часових інтервалів послідовностей рівновіддалених імпульсів змінної довжини, при цьому враховувалися взаємокореляційні властивості сегментів, завдяки чому можливо розподілити імпульси так, що взаємодія між сигналами у часовій області буде мінімальною, що в свою чергу призведе до мінімальної взаємодії між сигналами, а отже значною мірою зменшить вплив завад множинного доступу.

**Ключові слова:** завада множинного доступу, відеоімпульс, тривалість імпульсу, період слідування імпульсів, функція взаємної кореляції.

### Вступ

У широкосмугових системах з частотним розподілом сигналів дія завади множинного доступу обумовлена частковим перекриттям спектрів сигналів. Поділ ансамблю сигналів на послідовності рівновіддалених імпульсів змінної довжини дозволяє значною мірою зменшити рівень завад множинного доступу, крім того, розбиття послідовностей на рівні часові інтервали та їх наступна перестановка призводить до збільшення об'єму ансамблів сигналу [1].

Тому актуальною задачею являється визначення оптимального порядку слідування часових інтервалів у послідовностях сигналів.

**Аналіз літератури.** Питання збільшення об'єму ансамблів при заданих значеннях рівнів завад множинного доступу розглядаються як у вітчизняній, так і у закордонній літературі [1-15]. Але дослідження ансамблів послідовностей відеоімпульсів із різною кількістю елементів на основі перестановки часових інтервалів розглянуті недостатньо [12-15]. Отже актуальною задачею є розробка нових методів перестановки інтервалів з врахуванням взаємокореляційних властивостей кожного сегменту

Тому необхідно розробити новий метод перестановок часових інтервалів, який забезпечить підвищення об'єму ансамблів з урахуванням значень рівня завад множинного доступу.

### Основна частина

Розроблений метод базується на застосуванні взаємокореляційних властивостей часових інтервалів шляхом поетапного перебору. Часові інтервали кодових послідовностей відеоімпульсів з низькою взаємодією у часовій області піддаються кореляційному аналізу.

На рис. 1 даний метод представлено у вигляді алгоритму, який реалізує такі операції:

1. Здійснюють визначення вихідних даних: задають необхідну кількість послідовностей та часових інтервалів, на які розбиваються послідовності.



**Рис. 1.** Алгоритм процесу перестановки інтервалів у послідовностях з низькою взаємодією в часовій області

2. У кожній послідовності проводять попарний розрахунок значення максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції та визначають їх загальне середнє значення. На основі розрахованих значень складають ряд, в якому отримані значення будуть ставитися у відповідності до загального середнього значення максимальних викидів бокових пелюсток (МВБП) функції взаємної кореляції (ФВК).

3. Обирають часовий інтервал для першої позиції ряду, у якому значення МВБП ФВК має середнє значення. Для визначення наступних часових інтервалів проводять аналіз рейтингового ряду і розставляють значення у відповідності до загально-

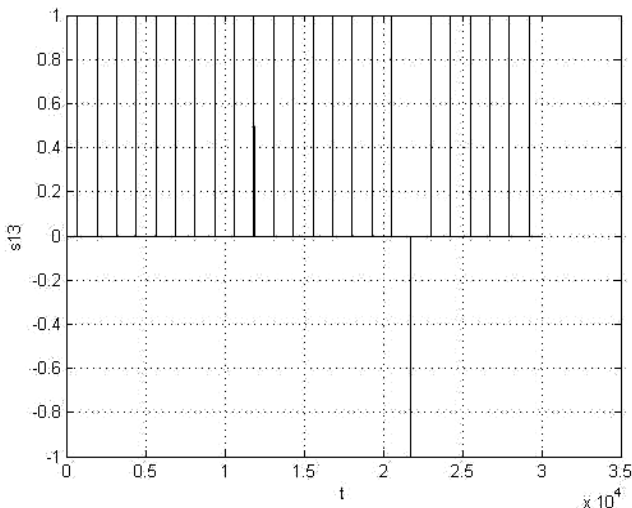


Рис. 2. Сигнал, отриманий із застосуванням перестановок послідовності з ансамблю з малою взаємодією в часовій області

Порівнявши отримані результати можна зробити висновок, що взаємкореляційні властивості перестановочних сигналів незначною мірою погіршуються, адже значення рівнів МВБП ФВК сигналів залежить від кількості інтервалів розбиття. Виходячи з отриманих результатів отримані значення максимальних викидів бічних пелюсток функцій взаємної кореляції сигналів при обраній кількості інтервалів розбиття не перевищують

$$R_{max} \leq 2,6\sqrt{B},$$

тобто відповідають вимоги до рівня взаємної кореляції сигналів одного ансамблю. За рахунок зміни тривалості інтервалів розбиття перестановочні послідовності, синтезовані з різних послідовностей з малою взаємодією у часовій області, мають низьку

го середнього значення МВБП ФВК. Таким чином буде сформовано новий усереднений ряд значень МВБП ФВК.

Для підтвердження працездатності розробленого алгоритму приводиться приклад, в якому використовується чотири послідовності  $S_1(t)$ ,  $S_2(t)$ ,  $S_3(t)$ ,  $S_4(t)$ , які синтезуються у відповідності до запропонованого алгоритму, розглянутому в [3], з тривалостями послідовностей  $T \approx 405$  мкс, тривалість імпульсів  $\tau = 10$  нс. Сигнал, отриманий за допомогою перестановки часових інтервалів вихідної послідовності шляхом їх перебору представлено на рис. 2. На рис. 3 представлена нормована ФВК цього сигналу.

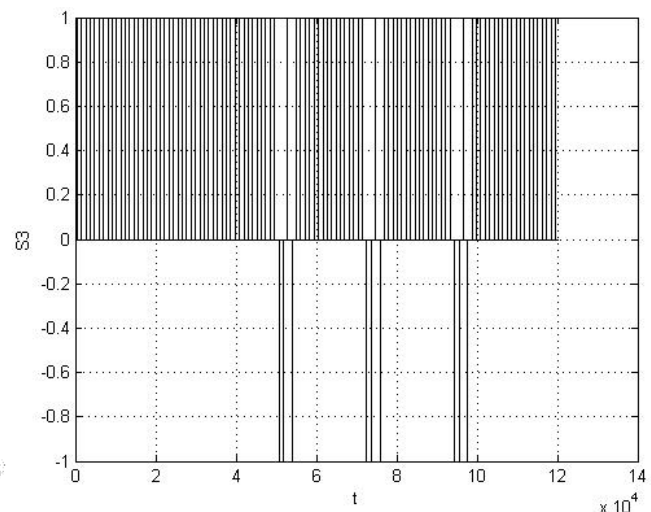


Рис. 3. Нормована ФВК сигналу, отриманого шляхом перестановки часових інтервалів кодової послідовності з ансамблю з малою взаємодією в часовій області

кореляцію – це дає можливість формувати на їх основі ансамблі сигналів, об'єми яких будуть перевищувати об'єми ансамблів вихідних кодових послідовностей, в число елементів розбивки (рис. 4).

## Висновок

Використання запропонованого методу перестановки інтервалів з врахуванням взаємкореляційних властивостей кожного сегменту дозволяє мінімізувати взаємодію між сигналами в часовій області. Наслідком цього являється істотне зменшення рівня завад множинного доступу, що значною мірою підвищує кількість ансамблів сигналів із задовільними взаємкореляційними властивостями і дає можливість використовувати їх в існуючих системах радіозв'язку.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами, под ред. Г.И. Тузова. - М.: «Радио и связь», 1985 г. - 284 с.
2. Степаненко Ю.Г., Лисечко В.П. Метод визначення періоду проходження коротких відеоімпульсів в кодових послідовностях на основі апроксимації функції Хевісайда / Степаненко Ю.Г., Лисечко В.П., Системи озброєння і військова техніка. - Х.: ХУПС - 2009. - Вип. 4(20). - С. 170-173.
3. Степаненко Ю.Г. Метод наращивания объема ансамбля последовательностей коротких видеоимпульсов с низким уровнем взаимной корреляции / Степаненко Ю.Г., Лисечко В.П., Качуровський Г.Н. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. - Х.: УкрДАЗТ - 2010. - Вип. 116. - С. 100-106.
4. Kovalenko, A. and Kuchuk H. (2018), "Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object's control system", *Advanced Information Systems*, 2018, Vol. 2, No. 1, pp. 22-27, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>

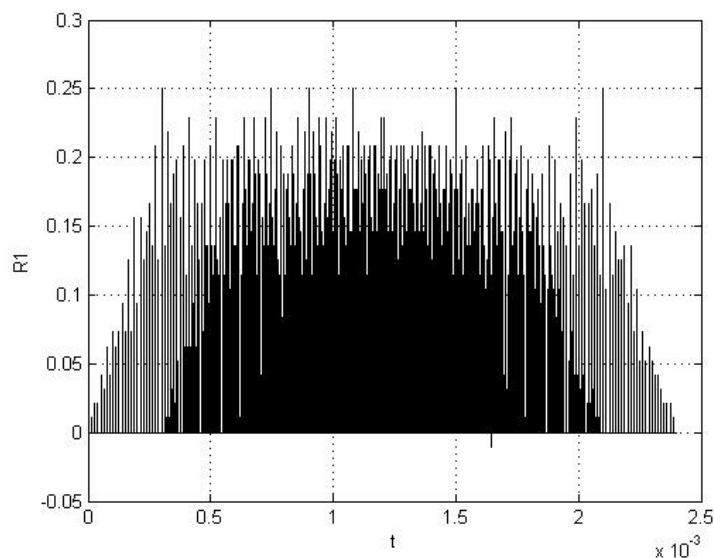


Рис. 4. Нормована ФАК сигналу, отриманого на основі перестановок інтервалів кодової послідовності з ансамбля з низькою взаємодією в часовій області

5. Мохаммад А.С., Коваленко А.А., Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.
6. Гахов Р.П. Моделирование трафика беспроводной сети передачи данных / Р. П. Гахов, Н. Г. Кучук// Научные ведомости БелГУ. – 2014. – № 1 (172). – Вып. 29(1). – С. 175-181.
7. Кучук Г.А. Розрахунок навантаження мультисервісної мережі / Г.А. Кучук, Я.Ю. Стасева, О.О. Болюбаш // Системи озброєння і військова техніка. – 2006. – № 4 (8). – С. 130 – 134.
8. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
9. Кучук Г.А. Метод дослідження фрактального мережного трафіка / ГА Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Вып. 5 (45). – С. 74-84.
10. Nechausov A., Mamusuc I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21 – 26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
11. Кучук Г. А. Метод синтезу інформаційної структури зв'язного фрагменту корпоративної мультисервісної мережі / Г. А. Кучук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2013. – № 2(35). – С. 97-102.
12. Коваленко А. А. Подходы к синтезу технической структуры компьютерной системы, образующей систему управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2014. – № 1(38). – С. 116-119.
13. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2017. – Вып. 2(42). – С. 117-120.
14. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
15. Степаненко Ю.Г. Метод перестановки часових інтервалів шляхом поетапного перебору / Степаненко Ю.Г., Жученко С.С., Чигрин Д.С. Системи озброєння і військова техніка. — 2012. — № 3(31). – С. 235-238.

Received (Надійшла) 14.07.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 02.09.2020

#### Method of permutation of intervals, taking into account correlation properties of segments

S. Indyk, V. Lysechko

**Abstract.** The purpose of the article. Development of a new method of permutation of time intervals, which will increase the volume of ensembles taking into account the values of the level of multiple access interference. An urgent task is to develop new methods of permutation of intervals taking into account the intercorrelation properties of each segment. Therefore, it is necessary to develop a new method of permutation of time intervals, which will increase the volume of ensembles, taking into account the values of the level of interference to multiple access. The developed method is based on the application of intercorrelation properties of time intervals by step-by-step search. The time intervals of the code sequences of video pulses with low interaction in the time domain are subject to correlation analysis. In the developed method of permutations, the time intervals of sequences of equidistant pulses of variable length were searched, taking into account the intercorrelation properties of the segments, so it is possible to distribute the pulses so that the interaction between signals in the time domain is minimal, which in turn leads to minimal interaction between signals and therefore significantly reduce the impact of multiple access interference. **Conclusions.** The use of the proposed method of permutation of intervals taking into account the intercorrelation properties of each segment allows to minimize the interaction between the signals in the time domain. The consequence is a significant reduction in the level of multiple access interference, which significantly increases the number of signal ensembles with satisfactory intercorrelation properties and makes it possible to use them in existing radio communication systems.

**Keywords:** multiple access interference, video pulse, pulse duration, pulse repetition period, cross-correlation function.



Н. О. Ліщиновська

Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна

## МОЖЛИВІСТЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМИ EGNOS RIMS НА ОСНОВІ РЕЗОНАТОРІВ НА НЕРЕГУЛЯРНИХ ЛІНІЯХ ПЕРЕДАЧ

**Анотація:** Предметом вивчення в статті є процеси в коливальних системах на базі мікросмужкових і симетричних смужкових ліній передач. Метою статті є розробка ефективних засобів усунення перешкод, які формуються супутниковим радіонавігаційним системам, що забезпечать можливість функціонування апаратури системи EGNOS RIMS в Україні. Задача, що вирішується – обґрунтування технічних рішень та аналіз радіочастотного середовища, як ключового критерія вибору місця розташування системи EGNOS RIMS в Україні та впливу радіочастотного середовища на продуктивність системи. В статті розглядається: наявні в зоні розгортання системи джерела перешкод, що негативно впливають на характеристики приймача EGNOS RIMS, оскільки їх потужність перевищує необхідний рівень у використаних діапазонах частот GPS L1 та L2. Особливості синтезу резонаторів на замкнутих і розімкнутих відрізках мікросмужкових і симетричних смужкових ліній передачі, для усунення перешкод, які формуються супутниковими радіонавігаційними системами. Перспективні шляхи застосування запропонованих резонаторів у використаних діапазонах частот GPS L1 та L2. Висновки: запропоновані технічні рішення доцільно використовувати для усунення перешкод, які формуються в супутникових радіонавігаційних системах, що забезпечують можливість функціонування апаратури системи EGNOS RIMS в Україні.

**Ключові слова:** EGNOS, RIMS, GPS, L1, L2 резонатор, мікросмужкові та симетричні смужкові лінії передачі.

### Вступ

Співпраця України та ЄС в рамках проекту EGNOS RIMS бере початок з грудня 2005 року, коли було підписано угоду про співпрацю в проєкті європейської ГНСС EGNOS / Galileo в Києві. Україна ратифікувала угоду в 2007 році, ЄС - восени 2013 року. Підписання даного договору свідчили про наміри, щодо розширення покриття системи EGNOS RIMS на території України та здійснення в рамках виконання Угоди про асоціацію між Україною та ЄС (Розділ 8 "Космос") [1].

Заходи, щодо розширення навігаційного покриття EGNOS RIMS на території України здійснюються в рамках виконання Згоди про асоціацію між Україною та Європейським союзом.

Практична підготовка до розміщення в Україні контрольно-коригуючої станції RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations) для прийняття сигналів від європейської Galileo почалась в 2015 році [2].

Впровадження системи EGNOS RIMS в Україні значно поліпшує якість місцевизначень навігаційних приймачів та стане ключовим фактором для підвищення рівня безпеки та ефективності авіаційного та інших видів транспорту, у тому числі, і для військових перевезень, а також сприятиме розвитку виробничих потужностей в ключових галузях економіки.

У відповідності з частиною третьою статті 6 Угоди про співробітництво щодо цивільної глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС) між Європейським Співтовариством, його державами-членами та Україною від 01.12.2005 сторонами Угоди було визнано «...важливість захисту навігаційного спектру радіочастот від порушень та перешкод» [3]. «GNSS» або «глобальна навігаційна супутникова система» – це інфраструктура, що складається з групи супутників та мережі центрів і наземних станцій, яка надсилає радіо сигнали для забез-

печення послуги надточного вимірювання часу та позиціонування над всією землею поверхнею користувачам з відповідним приймачем [3, 4].

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) – регіональна система супутникової навігації, що коригує відкриті сигнали, надіслані глобальними системами супутникової навігації, головним чином GPS і Galileo, що дозволяє користувачам цих систем отримувати кращі результати точності та цілісності. EGNOS включає ряд наземних станцій та кілька транспондерів, встановлених на геостационарних супутниках. Наземні станції складаються з інженерного центра, центрів управління місіями, станцій RIMS, станцій NLES, сервісного центра та сервера [3, 4].

На теперішній час зона дії системи охоплює практично всю Європу, включаючи не велику частину західної території України. Розширення EGNOS це розширення відкритих та життєво важливих послуг EGNOS на інших територіях за межами території Союзу, шляхом розширення наземної інфраструктури, а саме мережі станцій RIMS в інтересах країн, що не є членами Союзу [3, 4]. Що стосується зон покриття EGNOS то це області, в яких можна приймати сигнали, надіслані системою EGNOS, які відповідають мінімальним параметрам доступності, визначеним для відкритої послуги. Наземні станції RIMS, що належать до системи EGNOS, призначені для збору в режимі реального часу даних про позиціонування з сигналів глобальних супутникових навігаційних систем [3, 4].

### Стан питання

У 2018 році міжнародний аеропорт "Київ" (Жуляни) було обрано переможцем в розташуванні контрольно-коригуючих станцій EGNOS RIMS відповідно до угоди про розширення та співробітництво щодо цивільної глобальної навігаційної супутни-



кової системи (ГНСС) між Європейським Співтовариством, його державами-членами та Україною. Таке рішення було ухвалено завдяки підтримці Державного космічного агентства України, Європейського агентства ГНСС (GSA) та представників Європейської комісії.

Одним із ключових критеріїв вибору місця є радіочастотне середовище тобто захист навігаційного спектру радіочастот від перешкод, оскільки умови навколишнього середовища мають безпосередній негативний вплив на продуктивність системи EGNOS RIMS. У той же час, в ході досліджень в районі міжнародного аеропорту «Київ» (Жуляни) було виявлено джерела перешкод, потужність яких перевищує допустимий рівень, оскільки ці перешкоди негативно вплинуть на характеристики приймача станції RIMS у використовуваних діапазонах частот L1 та L2 (з центральними частотами 1575,42 МГц та 1227,6 МГц). Крім того, ці перешкоди є безперервними, що призводить до значного порушення вимог по розміщенню станції RIMS [5 – 7].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній день, під час проектування радіоелектронних засобів (РЕЗ) питання електромагнітної сумісності (ЕМС) недостатньо вирішені [8]. Виходячи із значної кількості відомих методів та способів їх реалізації в конкретних РЕЗ, їх ефективність за різними критеріями оцінки оцінена не більше 20 %. Слабо враховані питання впливу окремих способів поліпшення технічних характеристик РЕЗ в широкій смузі частот на зміну основних функціональних характеристик РЕЗ і питання комплексування різних способів для досягнення необхідних рівнів характеристик випромінювань й прийому РЕЗ, що впливають на їх ЕМС. Таким чином, одним з основних факторів, що впливають на ЕМС РЕЗ, є взаємні перешкоди, що створюються основними і неосновними випромінюваннями РЕЗ. До основних особливостей електромагнітної обстановки при роботі РЕЗ на борту повітряного судна (ПС) можна віднести таке [9]: в межах одного ПС зосереджена велика кількість РЕЗ різного призначення, що мають спільні джерела живлення, загальні або близько розташовані антенні системи, конструктивні і функціональні зв'язки; можливість впливу випромінювань станцій активних перешкод свого літака і сусідніх літаків бойового порядку на інші літакові РЕЗ; одночасна робота однотипних РЕЗ на літаках в загальному порядку; наявність загальних частотних діапазонів РЕЗ, що міститься у літаках різного призначення; вплив на бортове радіоелектронне обладнання (РЕО) численних перешкод від наземних РЕЗ при вході в їх зону дії.

Основними причинами виникнення взаємних перешкод для бортових РЕЗ є [10]: робота на близьких або співпадаючих частотах; недостатній територіальний рознос; відсутність синхронного запуску роботи РЕЗ.

Основні напрямки забезпечення ЕМС РЕЗ [11]: підвищення ефективності використання та регламентації частотного спектра (розробка перспективного плану і проведення поточного планування радіочас-

тотного діапазону, опрацювання технічних шляхів економного використання радіочастотного спектру, а також освоєння та регламентація нових діапазонів хвиль); поліпшення технічних характеристик РЕЗ в широкій смузі частот в результаті рішення трьох взаємозалежних завдань по нормуванню параметрів технічних характеристик; реалізації методів поліпшення технічних характеристик; метрологічного забезпечення вимірювань і контролю характеристик.

Рішення завдання щодо нормування технічних характеристик РЕЗ здійснюється відповідно до програм комплексної стандартизації, встановлюють норми на побічне випромінювання і прийом по побічним каналам. Аналіз роботи РЕЗ на борту ПС показав наявність великої кількості потенційно несумісних РЕЗ [8]. Великі резерви поліпшення електромагнітної обстановки на борту ПС приховані в реалізації методів поліпшення технічних характеристик РЕО, і в першу чергу в удосконаленні методів синтезу спеціальних виборчих пристроїв частотної селекції. При їх розробці виникає ряд труднощів, пов'язаних з суперечливими вимогами до фільтруючих систем:

- отримання частотних характеристик фільтрів з високою вибірковістю у разі технологічного серійного виробництва і мінімальних малогабаритних показників;

- отримання необхідної широти смуги загородження при заданих рівнях загасання в смузі пропускання і смузі загородження [9].

**Мета статті.** З урахуванням зазначених умов, актуальним на сьогодні є завдання щодо розробки ефективних засобів усунення перешкод, які формуються супутниковим радіонавігаційним системами, що забезпечать можливість функціонування апаратури системи EGNOS RIMS в Україні.

### Основна частина

У пристроях радіотехніки широко застосовуються коливальні системи на базі мікросмужкових і симетричних смужкових ліній. В даній роботі розглянуті особливості синтезу резонаторів на замкнутих і розімкнених відрізках вищевказаних конструкцій ліній передачі для функціонування апаратури системи EGNOS RIMS [12].

Таким чином оскільки лінія є замкнутою, то в залежності від її довжини змінюється характер вхідного опору і частотні характеристики лінії стають аналогічними характеристиками відповідно послідовного або паралельного коливального контуру, а сама лінія стає еквівалентною послідовному або паралельному коливальному контуру поблизу резонансної частоти. Полюси вхідного опору короткозамкненою лінії слідує з періодом  $\pi/t_3$ , так як вхідний опір однорідної (регулярної) замкнутої лінії [13]  $Z_{kz} = jWtg\omega t_3$ . Закон зміни хвильового опору, що забезпечує максимальну добротність резонатора досягається за рахунок певного закону зміни ширини провідної смужки. Ширину смужки  $i$ -ої сходинки відрізка регулярної лінії  $W_i$  з хвильовим опором  $W(\tau)$  визначається виразом:

$$W = 8h / (e^d - 2e^{-a}), \quad (1)$$

де  $h$  – товщина діелектричної підкладки в мм;  $\epsilon_r$  – відносна діелектрична проникність підкладки;  $w$  – ширина провідної смужки в мм.

При цьому похибка обчислень за формулою (1) не перевищує 1 %, що цілком задовольняє вимогам, що пред'являються до інженерних розрахунків.

Наведені формули були отримані в припущенні, що товщина провідної смужки нескінченно мала. Однак в тих випадках, коли  $b/h > 0 < 0,06$ , де  $b$  – товщина провідної смужки, необхідно враховувати товщину смужки. Для цього ширину смужки  $w$ , розраховану за умови, що її товщина дорівнює нулю, необхідно зменшити на величину, значення якої обчислюються таким чином:

$$\text{при } w/h \leq 0,16 \quad \Delta w = b [1 + \ln(4\pi w/b)] / \pi, \quad (2)$$

$$\text{при } w/h > 0,16 \quad \Delta w = b [1 + \ln(2\pi w/b)] / \pi. \quad (3)$$

Цей вираз справедливо, коли товщина смужки в кілька разів (але не більше) перевищує глибину скіншару в металі. Довжина провідної смужки, відповідної  $i$ -ї сходинки  $\Delta l_i = \Delta l_i' + \Delta l_i''$ , де  $\Delta l_i'$ ,  $\Delta l_i''$  – довжини відрізків однорідних ліній передачі, відповідних  $i$ -х сходинок.

Розглянуті вище вирази для розрахунку геометричних розмірів мікросмужкових ліній виведені за умови, що в лінії поширюється тільки ТЕМ-хвиля, тобто відсутні поздовжні складові векторів напруженості електричного і магнітного поля. Фазова швидкість ТЕМ-хвилі не залежить від частоти.

Насправді всі зазначені явища в різному ступені проявляються в реальній мікросмужковій лінії. Особливо в мікросмужковій лінії позначаються втрати на випромінювання в площині, перпендикулярній площині смужки, що знижує добротність резонатора.

Також, але в набагато меншому ступені випромінює замкнутий кінець резонатора через спотворення структури поля в кінці лінії в місці короткого замикання.

У мікросмужковій лінії не всі силові лінії поля між смужковим провідником і заземленою пластини проходять через підкладку. Тому хвиля, що розповсюджується вздовж мікросмужкового провідника, є не чисто Т-хвилею. Вона є квазі-Т-хвилею. Її фазова швидкість в мікросмужковій лінії визначається формулою [14]:

$$V_{\phi} = C / \epsilon_{re}. \quad (4)$$

Відзначимо, що ефективна діелектрична постійна  $\epsilon_{re}$  менше діелектричної постійної підкладки, так як ефективна діелектрична постійна враховує поле поза підкладки. Втрати в мікросмужковій лінії складаються з втрат у провіднику і діелектрику. Зокрема, формула для обчислення загасання в провіднику провідної смужки  $\alpha_{np}$  (дБ/м) може бути записана у вигляді [15]:

$$\alpha_{np} = 1,38 A \frac{R_s}{h W_0} \cdot \frac{32 - (w_e/h)^2}{32 + (w_e/h)^2}, \quad \left(\frac{w}{h}\right) < 1, \quad (5)$$

$$\alpha_{np} = 6,1 \cdot 10^{-5} A \frac{R_s w_e \epsilon_r \epsilon}{h} \left( w_e/h + \frac{0,667 w_e/h}{w_e/h + 1,444} \right), \quad (6)$$

Резонатори у вигляді розімкнутих відрізків однорідних полоскових ліній застосовуються в якості прохідних, що практично виключає випромінювання з відкритого кінця відрізка. Так як лінія є розімкнутою, то чергування полюсів в ній відбувається з періодом  $k\pi/2$ , оскільки вхідний опір відрізка лінії  $Z_{xx} = W \text{cthpt}_3$ . Залежно від характеру навантаження, підключеної до кінця лінії при паралельному включенні резонатора, довжина її буде зменшуватися або збільшуватися для створення режиму стоячих хвиль. При  $W_0 > R_H$ ,  $W_0 < R_H$ , ( $R_H$  – опір навантаження) і, якщо лінія навантажена на комплексний опір, то в ній виникає режим змішаних хвиль.

Недоліком симетричної полоскової лінії є ускладнений доступ до внутрішнього провідника при монтажі схеми в корпус, а також ускладнена установка навісних елементів, які можуть застосовуватися для настройки, перебудови, регулювання характеристик резонатора [13].

При виконанні резонатора на діелектричній підкладці з високою діелектричною проникністю, загасанням за рахунок випромінювання можна знехтувати враховуючи його малість. Підвищення добротності полоскової лінії можливо за рахунок збільшення відстані між пластинами і шириною смужки, однак існує межа, обумовлена появою хвильоводних типів коливань. Тому фізичними обмеженнями є напівхвильовий розмір ширини токонесущої смужки і відстані між нею і заземляючою пластинкою. При невиконанні цієї вимоги уздовж резонатора починають поширюватися вищі типи коливань, що робить його практично марним. Що стосується розімкнутих резонаторів, то необхідно відзначити, що при малих електричних довжинах пристроїв з відкритим кінцем лінії, втрати на випромінювання можуть становити до 90 % від загального числа втрат. У наявності невідповідність між вимогами до комплексної мікромініатюризації і втратами в резонаторах. Таким чином доцільно резонатор з відкритим кінцем використовувати як прохідний [16].

Зі збільшенням перепаду хвильового опору поліпшуються фільтруючі властивості резонатора і зменшується його довжина. Останнє означає, що зростають втрати на випромінювання з відкритого кінця лінії. Отже, при накладенні обмежень на мінімальне і максимальне значення хвильового опору, що задається з урахуванням фізичної можливості бути реалізованим, необхідно враховувати і фактор зростання втрат на випромінювання зі зменшенням довжини відрізка лінії.

Запропоновані в роботі фільтри були промодельовані в середовищі МATHCAD для супутникових радіонавігаційних систем в діапазоні частот L2 (з центральною частотою 1227,6 МГц) (рис. 1).

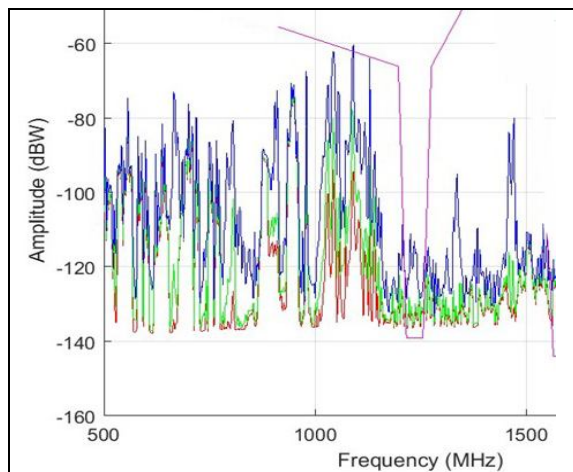


Рис. 1. Фільтрація в діапазоні частот L2

Аналіз графіку залежності подавлення сигналу від частоти показує, що застосування запропонованих резонаторів є ефективним для усунення перешкод, які формуються супутниковим радіонавіга-

ційним системами, що забезпечать можливість функціонування апаратури системи EGNOS в Україні.

### Висновки

У статті розглянуто питання вирішення проблеми завадостійкості обладнання систем EGNOS RIMS, що запроваджуються в Україні.

Для усунення перешкод, що формуються супутниковим радіонавігаційним системам в діапазоні частот L1 та L2 (з центральними частотами 1575,42 МГц та 1227,6 МГц), запропоновано конструювати фільтри на основі резонаторів на нерегулярних лініях переді.

Використання резонатора на діелектричній підкладці з високою діелектричною проникністю дозволяє захистити навігаційний спектр радіочастот від перешкод.

Представлене технічне рішення дозволяє здійснити розширення EGNOS в Україні у відповідності до міжнародної угоди, а саме в міжнародному аеропорту «Київ» (Жуляни).

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. <http://space.com.ua/2019/04/11/interv-yu-gazeti-den-z-golovoyu-derzhavnogo-kosmichnogo-agentstva-ukrayini-pavlo-m-degtvarenkom/>
2. <https://ua.interfax.com.ua/news/economic/522218.html>
3. <https://nikcenter.org/newsItem/45512>
4. <https://www.gpsworld.com/upgrades-to-monitoring-stations-support-egnos/>
5. <https://spacecenter.gov.ua/bez-rubriki/vikoristannya-sistem-egnos-galileo-v-ukrayini.html>
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/EGNOS>
7. <https://aggeek.net/ru-blog/v-ukraine-razmestyat-pervuyu-stantsiyu-egnos>
8. Іванов В.О., Сібрук Л.В., Куленко О.В. Умови забезпечення електромагнітної сумісності у групуванні радіоелектронних систем. Електроніка та системи управління, 2009. № 1 (19). С. 76 – 81.
9. Іванов В.О., Решетник М.В., Бондаренко Д.П. Алгоритм розрахунку норм частотно-територіального рознесення радіоелектронних засобів. Вісник ДУІКТ, 2007. № 5 (3). С. 262–270.
10. Дементьев А.Н., Нефедов В.И., Трефилов Н.А., Блудов А.А. Помехозащищенность спутниковых систем связи и навигации с многолучевыми активными ФАР. Вопросы радиоэлектроники, 2016. № 11. С. 6–12.
11. M. Nakamura et al., “Development status of the world’s GNSSs and the trend of the satellite positioning utilization”, Special issue of this NICT Journal, 2010, 5-1.
12. Приходько Т.Ю., Бойко Ю.П., Лициновская Н.О. Построение СВЧ фильтрующих устройств. Вестник Инженерной академии Украины, 2017. № 3. С. 200 – 208.
13. Справочник по расчёту и конструированию СВЧ ПУ / Под ред В.И. Вольмана. Радио и связь, 1982. 328 с.
14. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: URSS, 2014. 544 с.
15. Gupta K.C. Analysis and Design of Planar Microwave Components. Institute of Electrical and Electronic Eng., 2002. 586 p.
16. Приходько Т.Ю., Мищенко А.В., Лициновская Н.А. Добротность резонатора на основе нерегулярной линии передачи. Вестник Инженерной академии Украины, 2017. № 4. С. 97 – 102.

Received (Надійшла) 18.06.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.08.2020

### Capability to provide noise immunity of egnos rims system equipment based on resonators on irregular transmission lines

N. Lishchynovska

**Abstract:** The subject of study in the article are the processes in oscillatory systems based on microstrip and symmetric strip transmission lines. The aim of the article is to develop effective means of eliminating interference generated by satellite radio navigation systems, which will ensure the possibility of functioning of the equipment of the EGNOS RIMS system in Ukraine. The problem to be solved is substantiation of technical solutions and analysis of the radio frequency environment as a key criterion for choosing the location of the EGNOS RIMS system in Ukraine and the impact of the radio frequency environment on the system performance. The article considers: there are interference sources in the deployment zone of the system, which negatively affect the characteristics of the EGNOS RIMS receiver, as their power exceeds the required level in the used GPS frequency bands L1 and L2. Features of resonator synthesis on closed and open segments of microstrip and symmetric strip transmission lines, to eliminate interference generated by satellite radio navigation systems. Promising ways of application of the offered resonators in the used frequency ranges of GPS L1 and L2. Conclusions: the proposed technical solutions should be used to eliminate obstacles that are formed in satellite radio navigation systems, providing the possibility of operation of the equipment of the EGNOS RIMS system in Ukraine.

**Keywords:** EGNOS, RIMS, GPS, L1, L2 resonator, microstrip transmission lines, symmetric strip transmission lines

А. О. Москаленко<sup>1</sup>, Г. В. Сокол<sup>2</sup>, Т. М. Коротун<sup>1</sup>, А. Г. Углярниця<sup>1</sup>, А. О. Шугайло<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Полтавський інститут бізнесу ЗВО «Міжнародний ГТУ ім. акад. Ю. Бугая», Полтава, Україна

<sup>2</sup> Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛІВ МОДУЛЯЦІЇ ЦИКЛІЧНИМ ЗСУВОМ КОДУ З АДАПТАЦІЄЮ ПО ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ НА ОСНОВІ ДОСКОНАЛИХ ДВІЙКОВИХ МАТРИЦЬ

**Анотація.** За результатами досліджень встановлено, що важливою характеристикою систем радіозв'язку спеціального призначення є перешкодозахищеність. Перешкодозахищеність включає скритність системи та її перешкодостійкість. Перешкодостійкість, структурна та енергетична скритність системи радіозв'язку спеціального призначення визначаються характеристиками використовуваних сигналів. В роботі представлено результати дослідження характеристик сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць, а саме структурної та енергетичної скритності. За результатами проведених досліджень встановлено, що використання сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць замість М-последовностей дозволить підвищити структурну скритність радіосистем спеціального призначення. Структурна скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць більша за структурну скритність М-последовностей, до того ж, при збільшенні довжини кодової последовності, структурна скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць зростає стрімкіше. Енергетична скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць ідентична енергетичній скритності сигналів М-ічної ортогональної модуляції. Напрямок подальших досліджень є дослідження перешкодостійкості сигналів з адаптацією по швидкості передачі інформації на основі досконалих двійкових матриць в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

**Ключові слова:** модуляція циклічним зсувом коду, досконалі двійкові матриці, скритність.

### Вступ

**Постановка задачі.** В сучасних умовах ведення прихованих інформаційних війн, здійснюваних, в тому числі, і поза межами безпосередніх збройних конфліктів, пошук ефективних методів і засобів протидії деструктивним впливам навмисних перешкод на лінії радіозв'язку є ефективним і значущим завданням для систем радіозв'язку спеціального призначення.

Перешкодозахищеність – це здатність системи зв'язку протистояти впливу потужних перешкод [1]. Перешкодозахищеність включає скритність системи та її перешкодостійкість. Таким чином, підвищення перешкодозахищеності досягається підвищенням скритності та перешкодостійкості системи.

Здатність системи радіозв'язку протистояти діям радіо- та радіотехнічній розвідкам, направленим на виявлення сигналів, вимірювання параметрів і визначення розташування джерела випромінювання, характеризується поняттям скритності [1-3]. В загальному випадку, розрізняють наступні види скритності: енергетичну, структурну і просторову.

Перешкодостійкість, структурна та енергетична скритність системи радіозв'язку спеціального призначення визначаються характеристиками використовуваних сигналів [1-3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [4] запропоновано математичну модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Розглянуто основні принципи функціонування пристрою управління моделі формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць. Запропонована математична модель формування сигна-

лів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць, розглянуті питання синтезу сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації, запропонований алгоритм їх кореляційної обробки, приведені правила формування сигналів адаптивної модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації та правила функціонування пристрою вирішення цифрового кореляційного приймача сигналів адаптивної CSSK-модуляції.

В роботі [5] запропоновано методика застосування сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації в перспективних радіоінтерфейсах. Розглянуто порядок оцінювання середовища розповсюдження радіохвиль та передавання і прийом сигналів управління; моделі формування та кореляційної обробки сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації.

Питання щодо дослідження перешкодостійкості сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації розглянуто в роботі [6]. Проте, в даних роботах не було досліджено скритність систем радіозв'язку спеціального призначення при використанні сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

**Мета і завдання даного дослідження.** Враховуючи це, метою статті є дослідження структурної та енергетичної скритності сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.

## Основна частина

**1. Структурна скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.** Використання ймовірності підбору структури сигналу для оцінки структурної скритності, не дозволяє врахувати алгоритмічні чи інші проблеми, пов'язані з розкриттям події. Крім того, ймовірність підбору структури сигналу, як правило, залежить від характеристик апаратури, які не завжди відомі досліднику і змінюються в процесі вдосконалення. Тому оцінка залежить не лише від характеру подій і супутніх обставин, а й від засобів, що використовуються [7].

В якості одиниці структурної скритності в [7] запропоновано використовувати одне двійкове вимірювання (ДВ). ДВ – середня кількість двійкових вимірювань, яку необхідно виконати для вирішення задачі по розкриттю структури сигналу.

Структурна скритність сигналів визначається наступним чином [7]:

$$S = \log_2 V,$$

де  $S$  – структурна скритність сигналу,  $V$  – кількість можливих систем сигналів.

За результатами аналізу методів формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць [4,5] встановлено, що структурна скритність даних сигналів визначається характеристиками досконалих двійкових матриць.

Кількість можливих ортогональних систем сигналів, отриманих на основі досконалих двійкових матриць, визначається [8, 9] для парних  $n$

$$V = \frac{3^{n/2} \times 2^{2^{n+1}-1}}{2^{2n}} = 3^{n/2} \times 2^{2(2^n - n - 1)}$$

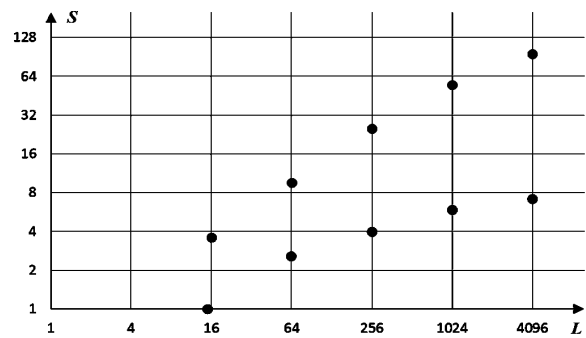
і для непарних  $n$

$$V = \frac{3^{(n-1)/2} \times 2^{2^{n+1}-1}}{2^{2n}} = 3^{(n-1)/2} \times 2^{2(2^n - n - 1)}.$$

Прийнявши довжину кодової послідовності за  $L$ , для даного випадку  $n = \log_2 L/2$ .

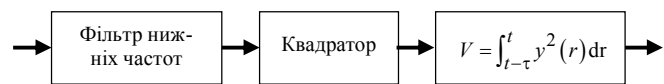
Враховуючи це отримано залежності структурної скритності сигналів від довжини кодової послідовності для сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць і сигналів  $M$ -ічної ортогональної модуляції (рис. 1).

Як видно із рис. 1, структурна скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць більша за структурну скритність  $M$ -послідовностей, до того ж, при збільшенні довжини кодової послідовності ( $L$ ), структурна скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць зростає стрімкіше.



**Рис. 1.** Залежність структурної скритності від довжини кодової послідовності сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць і  $M$ -послідовностей

**Енергетична скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць.** Окрім структурної скритності, важливе значення для систем радіозв'язку спеціального призначення має їх енергетична скритність. Частіш за все, найбільш ефективним засобом виявлення широкополосних сигналів є т. зв. енергетичний виявлювач (радіометр) [7]. Радіометр – простий пристрій, що потребує незначних попередніх припущень щодо структури сигналів. Спрощена блок-схема радіометра представлена на рис. 2.



**Рис. 2.** Структурна схема радіометра

Детектування здійснюється при порівнянні величини  $V$  на виході радіометра з порогом  $L$ . При цьому вважається, що сигнал виявляється, якщо  $V \geq L$ , якщо ж  $V < L$ , це сприймається, як відсутність сигналу на вході приймача, і розцінюється, як хибна тривога. Оскільки запропоновані сигнали ортогональні, їх енергетична скритність ідентична енергетичній скритності сигналів  $M$ -ічної ортогональної модуляції (МОМ) (рис. 3) і визначається таким чином [7]:

$$P_{вр} = \int_{L_0}^{\infty} (u/\Lambda)^{(TF-1)/2} e^{-(u+\Lambda)} I_{TF-1}(2\sqrt{u\Lambda}) du,$$

де  $P_{вр}$  – ймовірність виявлення сигналу;  $L_0$  – поріг радіометра;  $\Lambda$  – відношення енергії сигналу, накопленої радіометром шляхом інтегрування і спектральної щільності шуму;  $TF$  – добуток довжини сигналу і полоси пропускання фільтра радіометра;  $I_{TF-1}(x)$  – модифікована функція Бесселя першого роду  $TF-1$  порядку. На рис. 3 [7]  $P_{фа}$  – ймовірність хибної тривоги; для кожного значення ймовірності хибної тривоги представлені по п'ять кривих, що відповідають (зверху-вниз) ймовірності помилки в символі  $P_c = 0.00001$ ;  $P_c = 0.0001$ ;  $P_c = 0.001$ ;  $P_c = 0.01$ ;  $P_c = 0.1$ . Як видно із рис. 3, ймовірність виявлення сигналу радіометром зменшується при зростанні бази сигналу, крім того, зменшення ймовірності помилки в прийомі символу призводить до збільшення ймовірності виявлення сигналу радіометром.

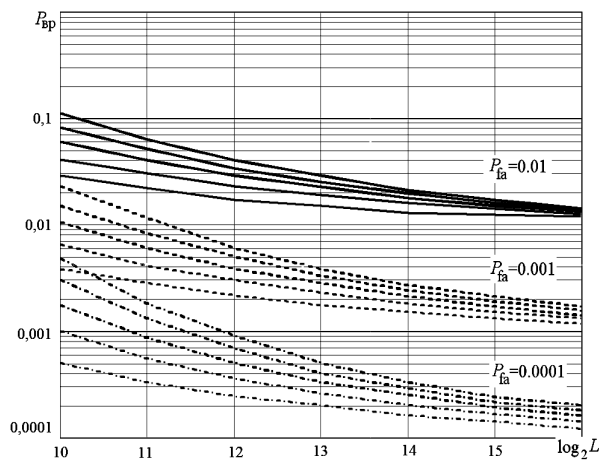


Рис. 3. Характеристики виявлення сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць за допомогою радіометра

### Висновки

Таким чином, використання сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості

передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць замість  $M$ -последовностей дозволить підвищити структурну скритність радіосистем спеціального призначення. Наприклад, при довжина кодової послідовності, що використовується для розширення спектра, 1024 (1023) біт, структурна скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць буде більша за структурну скритність сигналів на основі  $M$ -последовностей в  $55.17/5.91 \approx 9.34$  раз, причому вираш має тенденцію збільшуватись при збільшенні довжини кодової послідовності.

Енергетична скритність сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць ідентична енергетичній скритності сигналів  $M$ -ічної ортогональної модуляції.

Напрямок подальших досліджень є дослідження перешкодостійкості сигналів з адаптацією по швидкості передачі інформації на основі досконалих двійкових матриць в умовах багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 364 с.
2. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков и др.; Под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
3. Torrieri D.J. Principles of Secure Communication Systems. Dedham, MA.: Artech House, Inc., 1985. – 286 p.
4. Москаленко А.О. Математична модель формування сигналів з адаптацією по швидкості передавання інформації на основі досконалих двійкових матриць / А.О. Москаленко, Г.В. Сокол, Ю.В. Глуховець, В.В. Варич // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: – 2020. – № 1(59). – С. 147-150.
5. Москаленко А.О. Методика застосування сигналів удосконаленої модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передавання інформації в перспективних радіоінтерфейсах / А.О. Москаленко, Ю.В. Глуховець, В.В. Варич, С.О. Івко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2019. – № 3 (36) – С. 35–39.
6. Москаленко А.О. Перешкодостійкість сигналів модуляції циклічним зсувом коду з адаптацією по швидкості передачі інформації / А.О. Москаленко, Г.В. Сокол, Н.В. Рвачова, Т.В. Буряк, Ю.В. Глуховець, В.В. Варич // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: – 2018. – № 3(49). – С. 175-180.
7. Каневский З.М. Теория скрытности / З.М. Каневский, В.П. Литвиненко. – Воронеж: ВГУ, 1991. – 144 с.
8. Гепко И.А. Синтез совершенных двоичных решеток /И.А. Гепко // Радиозлектроника. – 1998. – Т.41. – №6 – С. 13-21.
9. Panchenko S. Analysis of efficiency of the bioinspired method for decoding algebraic convolutional codes / S. Panchenko, S. Prykhodko, S. Kozelkov, M. Shtompel, V. Kosenko, O. Shefer, O. Dunaievskaya / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2/4 (98) 2019.

Received (Надійшла) 30.06.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 02.09.2020

### Characteristics of the modulation signals by the cyclic code shift with the adaptation by the information transfer rate based on perfect binary matrices

A. A. Moskalenko, G. V. Sokol, T. M. Korotun, A. H. Uhlianutsa, A. O. Shuhailo

**Abstract.** Research has shown that an important feature of special purpose radio systems is noise immunity. Interference protection includes the secrecy of the system and its noise immunity. In the general case, there are the following types of secrecy: energy, structural and spatial. Noise immunity, structural and energy secrecy of a special purpose radio communication system are determined by the characteristics of the signals used. The paper presents the results of research of the characteristics of modulation signals by cyclic code shift with adaptation by the information transmission rate based on perfect binary matrices, namely, structural and energy secrecy. The results of the research found that the use of modulation signals by a cyclic code shift with adaptation in the information transmission rate based on perfect binary matrices instead of  $M$ -sequences will increase the structural secrecy of special-purpose radio systems. The structural secrecy of modulation signals by a cyclic code shift with adaptation in the information transmission rate based on perfect binary matrices is higher than the structural secrecy of  $M$ -sequences, moreover, with an increase in the length of the code sequence, the structural secrecy of modulation signals by a cyclic shift of the code with adaptation in the information transmission rate by the basis of perfect binary matrices is growing faster. The energy secrecy of the cyclic code shift modulation signals with adaptation to the information transmission rate based on perfect binary matrices is identical to the energy secrecy of the  $M$ -ary orthogonal modulation signals. The direction of further research is to study the noise immunity of signals with adaptation for the information transmission rate based on perfect binary matrices in conditions of multipath propagation of radio waves.

**Keywords:** modulation signals by the cyclic code shift, perfect binary matrices, secrecy.



К. А. Трубочанінова

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

## МОДЕЛЬ АНТЕНИ ДЛЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ НАДШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ

**Анотація.** Для реалізації вимог щодо широкосмужності приймально-передавальної антени найбільш придатним є антенний елемент, який являє собою антену з розширюючою щільною TSA (Tapered Slot Antenna). Форма розімкнутої щільни визначає смугу частот, причому її енергетичну спрямованість характеризує вузький головний промінь та практична відсутність бокових пелюсток у діапазоні частот 2-6,5 ГГц. Попереднє формування в системі чіпу у вигляді моноциклу Гауса унеможливило виникнення енергетичних втрат, що виникають за рахунок неузгодженості сигналу в широкій смузі частот та обмежують радіус розповсюдження надширокосмужового інформаційного сигналу. Тому формування надширокосмужного чіпу здійснюють шляхом збудження моноімпульсного сигналу у розташованих поряд двох антенних елементах, кожний з яких являє собою антену TSA. **Мета роботи** пов'язана з розробкою методу випромінювання надширокосмужового сигналу шляхом поділу сигналу навпіл, одну частину якого послідовно інвертують, затримують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу та обом моноімпульсними сигналами збуджують відповідно обидві поряд розташовані на єдиній діелектричній основі антени. Розроблена турнікетна модель антени доводить, що біполярний імпульс випромінювання електромагнітного поля у 9,5 разів перевищує радіус дії у порівнянні з радіотехнічними системами, які працюють з використанням уніполярного моноімпульсу та у 2,37 разів у порівнянні із системами, які працюють з використанням гармонійних коливань. Розроблена імітаційна модель антени в середовищі програмування HFSS, яка дозволяє проводити оптимізацію технічних характеристик антени.

**Ключові слова:** надширокосмужові сигнали, метод випромінювання надширокосмужового сигналу, TSA, HFSS.

### Вступ

Переповнення радіочастотного спектру радіоелектронними засобами (рис. 1) створює несприятливі умови для організації безпроводового зв'язку. Причому, наведений аналіз доводить, що найбільша кількість засобів зв'язку зосереджено в діапазоні частот від 2 до 12 ГГц. Особливість використання цього діапазону обумовлена найменшим рівнем зашумлення радіохвиль в просторі.

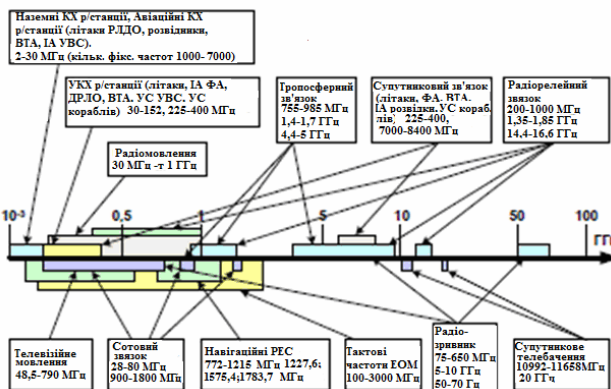


Рис. 1. Розподіл за робочими частотами засобів зв'язку

Порівняльний аналіз систем і методів організації безпроводового зв'язку (рис. 2) довів, що найбільш прийнятним для організації якісного зв'язку є системи 5-го покоління [1]. Аналіз технічних характеристик пристроїв зв'язку (рис. 3) показав, що для вирішення задач забезпечення якісного зв'язку, застосування надширокосмужових технологій з використанням часової позиційно-імпульсної модуляції є перспективним напрямом. Технологія надширокосмужового зв'язку полягає в безпосередньому випромінюванні до вільного простору гребінки малопотужних надкоротких імпульсів, яка являє собою інформаційний біт. При цьому випромінювання та

передача двійкової інформації здійснюється в широкому частотному діапазоні (1 – 11 ГГц) значно нижче рівня шуму, а спектр інформаційного сигналу розподіляється рівномірно у цьому діапазоні частот.

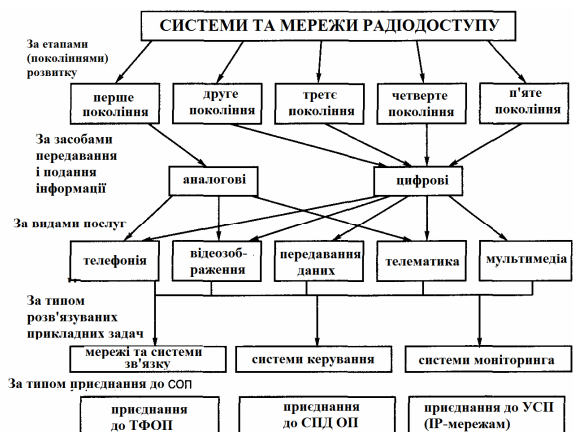


Рис. 2. Класифікація систем та мереж радіодоступу

Тип пристрою	Швидкість передавання даних	Радіус зони обслуговування, м	Діапазон частот, ГГц	Рівень потужності	Тип модуляції	Метод каналного розподілу
СШП	До 500 Мбіт/с	15	1...11	-30...40 дБм/МГц	PPM/інший тип	Імпульсна передача
Bluetooth	722 кбіт/с	15	ISM 2,4	Клас 1: 20 дБм Клас 2: 4 дБм Клас 3: 0 дБм	GMSK	Розподіл каналів за рахунок сигналів зі псевдодіафрагмовою перебудовою частоти
802.11a, WLAN	До 54 Мбіт/с	50	5	200 мВт - 1 Вт	64-QAM, 16-QAM, BPSK, QPSK, OFDM	Частотне TDMA
802.11b, WLAN	До 11 Мбіт/с	100	ISM 2,4	100 мВт - 2 Вт	CCK (8 Complex Chip Spreading)	- « -
802.11g, WLAN	До 54 Мбіт/с	100	ISM 2,4	100 мВт - 2 Вт	64-QAM, 16-QAM, BPSK, QPSK, OFDM	- « -
Hiper LAN 2, WLAN	54 Мбіт/с	50	5	200 мВт - 1 Вт	64-QAM, 16-QAM, QPSK, BPSK, OFDM	- « -

Рис. 3. Технічні характеристики пристроїв із безпроводовими каналами зв'язку

Це вимагає надширокої смуги частот приймально-передавальної антенної системи.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Найбільш придатним є антенний елемент (рис. 4), що являє собою антенну з розширюючою щілиною – *TSA (Tapered Slot Antenna)*, яку характеризує високий коефіцієнт посилення [1-4].

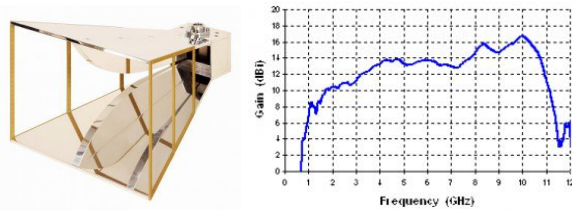


Рис. 4. Модель TSA антени та її технічні характеристики

Форма розімкнутої щілини TSA визначає смугу частот, причому її енергетичну спрямованість характеризує вузький головний промінь та практична відсутність бокових пелюсток у діапазоні частот 2 - 6,5 ГГц.

**Метод випромінювання надширокопasmового сигналу.** Істотне розширення частотної смуги електромагнітного випромінювання є визначальним при використанні TSA. Однак, попереднє формування в системі чіпу у вигляді моноциклу Гауса унеможливує виникнення енергетичних втрат, що виникає за рахунок неузгодженості сигналу в широкій смузі частот та обмежує радіус розповсюдження надширокопasmового інформаційного сигналу. Тому формування надширокопasmового чіпу, здійснюють шляхом збудження моноімпульсного сигналу у розташованих поряд двох антенних елементів, кожний з яких являє собою антенну TSA. Генерований надширокопasmовий уніполярний сигнал поділяють навпіл, одну частину якого послідовно інвертують, затримують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу та обом моноімпульсними сигналами збуджують відповідно обидві поряд розташовані на єдиній діелектричній основі антени. Електромагнітні поля двох уніполярних імпульсів інтерферують у еквівалентному загальному розкритті обох антен, збуджуючи у ньому електромагнітне поле біполярного імпульсу [5-7]. Цей біполярний імпульс електромагнітного поля створює поле випромінювання, яке у 9,5 разів перевищує радіус дії широко-

смугового електромагнітного випромінювання у порівнянні з радіотехнічними системами, які працюють з використанням уніполярного моноімпульсу та перевищує у 2,37 разів у порівнянні із системами, які працюють з використанням гармонічних коливань. На рис. 5 наведено модель антени, яка реалізує запропонований метод.

З генератора 1 уніполярні імпульсні сигнали безпосередньо надходять до розподільвача сигналу 6 першого блоку антен 8, який поділяє його навпіл, та подає безпосередньо до системи збудження 4-1, створюючи у випромінюючому розкритті 5-1 моноімпульсне електромагнітне поле. У той же час інвертований моноімпульсний сигнал подається через лінію затримки 7 на систему збудження 4-2, створюючи у випромінюючому розкритті 5-2 інвертоване моноімпульсне електромагнітне поле, затримане на половину тривалості моноімпульсного сигналу. Електромагнітні поля двох уніполярних імпульсів основного та інвертованого інтерферують у еквівалентному загальному розкритті антени, збуджуючи в ньому електромагнітне поле біполярного імпульсу.

Організація зв'язку в системі рухомих пристроїв накладає певні обмеження, що обумовлені невизначеністю у часі та просторі вектору поляризації інформаційного сигналу відносно вісі приймальної антени. Так, у випадку їх ортогонального розташування рівень прийнятого сигналу буде дорівнювати нулю. Тому пропонується запровадити **мерехтливу поляризацію**, за якою кожний з гребінки надкоротких імпульсів, що кодують інформаційний біт, по черзі подається на одну чи іншу антену, які в антенному блоці розташовані ортогонально. Таке розташування обох антенних блоків створює турнікетну антенну систему та забезпечує прийом електромагнітного випромінювання довільної поляризації. При цьому одночасно інформаційний уніполярний імпульсний сигнал з генератора 1 надходить через лінії затримки 10, 11 до іншого блоку антен 9, який має аналогічну структуру та конструктивно розташовано ортогональне відносно першого блоку [3], створюючи випромінювання сигналу, вектор поляризації якого ортогональний тому, що випромінює блок антен 8, реалізуючи таким чином мерехтливу поляризацію всієї антенної системи [8].

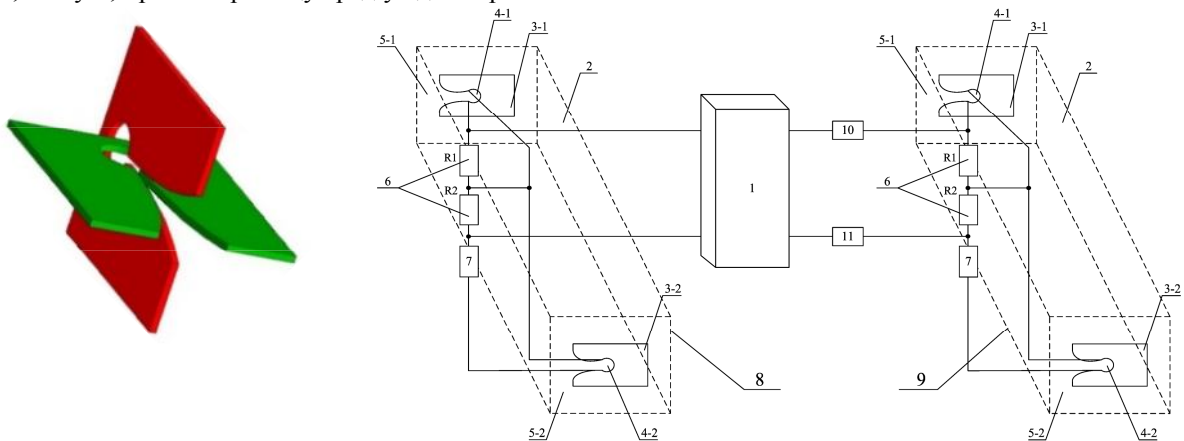


Рис. 5. Турнікетна модель антени для випромінювання надширокопasmових сигналів

Дослідження запропонованої антенної системи та її елементів виконувалося в середовищі програмування HFSS (High Frequency System Simulator), яке призначено для тривимірного електромагнітного моделювання і розробки височастотних радіоелектронних і антенних пристроїв, що дозволило дослідити її технічні характеристики [9].

**Розробка моделі антени в середовищі програмування HFSS.** Процес побудови імітаційної моделі антени за допомогою HFSS включає такий алгоритм:

Крок 1. Створення моделі аналізованої структури, у тому числі: створення тривимірної графічної моделі структури (креслення); завдання параметрів матеріалів, із яких складається структура.

Крок 2. Визначення електродинамічних параметрів структури, що включає: завдання граничних умов на поверхнях, що формують аналізований об'

єкт; визначення і калібрування портів; завдання параметрів рішення.

Крок 3. Електродинамічний аналіз досліджуваного об'єкту, у тому числі: аналіз об'єкту в смузі частот; параметричний аналіз об'єкту; параметрична оптимізація об'єкту.

Крок 4. Візуалізація результатів електродинамічного аналізу, що включає: побудова графіків в декартових, полярних координатах, діаграм Сміта, діаграм спрямованості тощо; анімація розподілів електромагнітного поля і електричного струму; збереження результатів аналізу у файлах даних.

Модель антени, складається із форми у вигляді щілини, що розходитьсся. Закладаємо основу (1,5 мм) і властивості матеріалу (рис. 6).

Наступним етапом моделювання було створення форми антени та побудова другої антени (рис. 7).

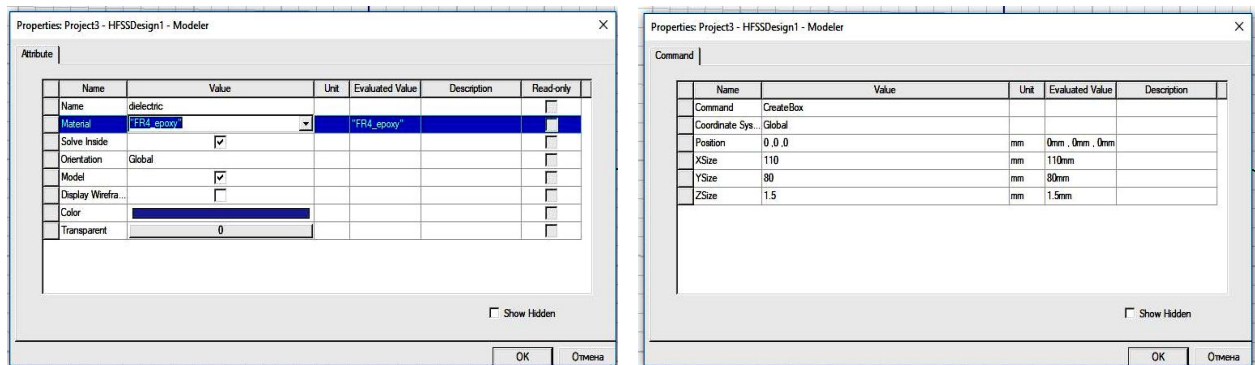


Рис. 6. Параметри підкладки антени

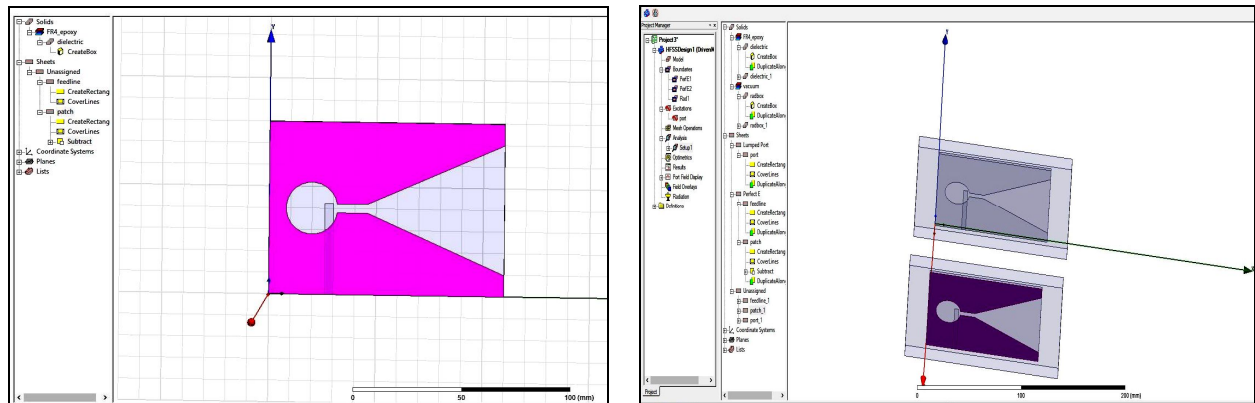


Рис. 7. Створення форми антени та побудова другої антени

В результаті проведених процедур загальний вигляд побудованої моделі антени та результати розрахунку моделі показано на рис. 8.

### Висновки

Таким чином, використання запропонованої турнікетної антенної системи дозволяє підвищити більш ніж удвічі радіус дії ширококутового електромагнітного випромінювання за рахунок створення у розкриві

антен надкороткого біполярного імпульсного сигналу та застосування мерехтливої поляризації.

Результати імітаційного моделювання, довели працездатність запропонованої моделі та технічних рішень щодо використання їх у системах мобільного надширококутового зв'язку. Розроблена модель дозволяє проводити оптимізацію технічних характеристик турнікетної антени та адаптувати їх до вимог технічних завдань під час конкретних розробок.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Теорія та практика електромагнітної сумісності телекомунікаційних систем / С. В. Панченко, О. А. Серков, К. А. Трубочанінова. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 249 с.



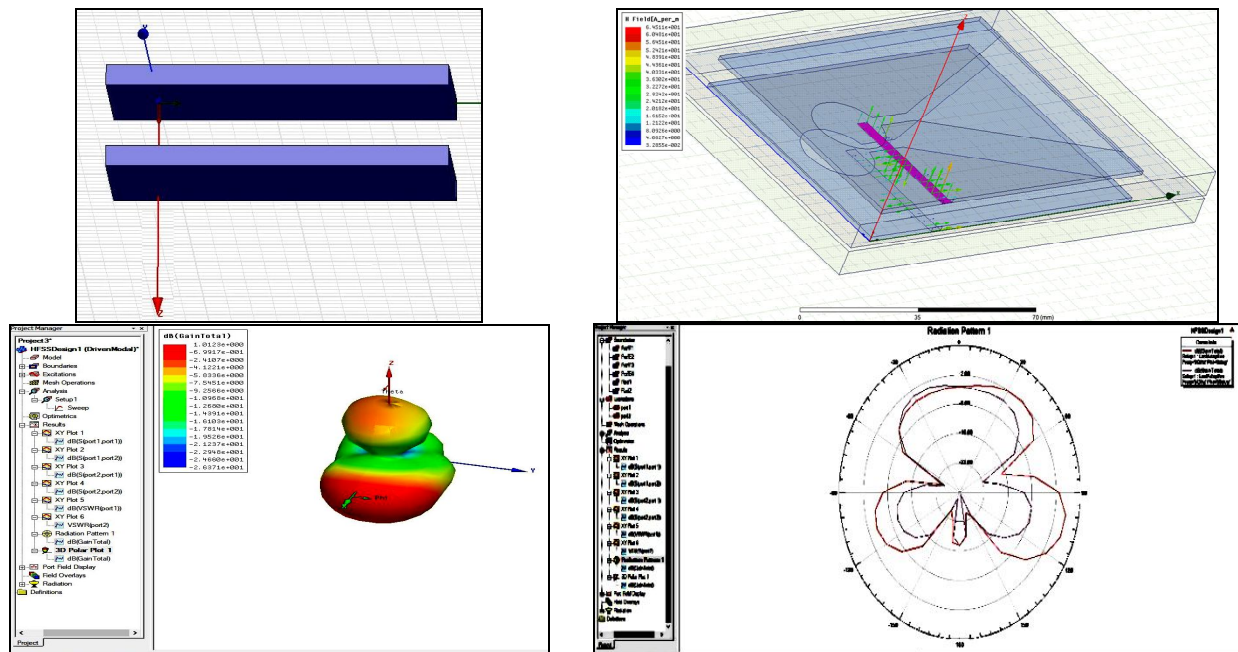


Рис. 8. Імітаційна модель антени та результати моделювання

- Серков О. А. Модель TSA / О. А. Серков, Г. І. Чурюмов, В. С. Бреславец, М. Ю. Толкачов // Матеріали XVII МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-17)», Харків-Одеса, 11-15 вересня 2017. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 76.
- Баркун М. А. Сверхширокополосная связь. Часть 1 / М. А. Баркун, О. Р. Ходасевич // Проблемы инфокоммуникаций. – Минск: Белорусская государственная академия связи. – 2016. – № 2 (4). – С. 5–15.
- Серков А. Широкополосная импульсная антенна / А. Серков, В. Бреславец, М. Толкачев, В. Кравченко, Г. Чурюмов // Сучасні інформаційні системи. – Т. 1, № 3. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – С. 117–126.
- Лазуренко Б. О. Технологія надширококузових сигналів в системах зв'язку рухомих пристроїв / Б. О. Лазуренко, К. А. Трубочанінова, О. А. Серков // Матеріали XIX МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-19)», Харків-Одеса, 11-16 вересня 2019. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – С. 74–75.
- Ковтун І. В. Моделювання плоскої дводіапазонаної антени решіткі для приймання хвиль полярізації / І. В. Ковтун, М. С. Курцев, К. А. Трубочанінова // Матеріали 32 МНПІК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», Харків, 24-25 жовтня 2019. – Харків: УкрДУЗТ, 2019. – № 4. – С. 8.
- Трубочанінова К. А. Моделі і методи організації надширококузового безпроводового зв'язку / К. А. Трубочанінова, О. А. Серков // Матеріали III ВНТК «Проблеми інфокомунікацій», Полтава-Київ-Харків-Мінск, 19 листопада 2019. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2019. – С. 26–27.
- Спосіб збудження надширококузової антени з мерехтливою полярізацією: патент на корисну модель UA 141131 U Україна: МПК H01Q 21/06 (2006.01) / С. В. Панченко, О. А. Серков, К. А. Трубочанінова, М. С. Курцев, Б. О. Лазуренко; власник Укр. держ. ун. заліз. тр. – у 2019 08723; заявл. 19.07.2019; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6.
- Моделирование антенн в ANSYS HFSS [Електронний ресурс] // САПР и графика. – 2015. – №8. – С. 40–43. – Режим доступу: <https://sapr.ru/article/24969>.

Received (Надійшла) 25.06.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.08.2020

## Development of an antenna model for the emission of ultra-wideband signals

K. Trubchaninova

To implement the requirements for the wide bandwidth of the transmitting and receiving antenna, the most suitable antenna element is an antenna with a Tapered Slot Antenna (TSA). The shape of the open slit determines the frequency band, and its energy directive is characterized by a narrow main beam and the practical absence of side lobes in the frequency range 2–6.5 GHz. The preliminary formation of a chip in the form of a Gaussian monocycle in the system makes it impossible for the occurrence of energy losses arising from the signal inconsistency in a wide frequency band and limiting the propagation radius of the ultra-wideband information signal. Therefore, the formation of a supra-wideband chip is carried out by exciting a monopulse signal in two adjacent antenna elements, each of which is a TSA antenna. The purpose of this work is to develop a method for emission of an ultra-wideband signal by dividing the signal in half, one part of which is sequentially inverted, delayed for a time equal to half the duration of a monopulse, and both monopulse signals excite, respectively, both antennas located side by side on a single dielectric base. The developed turnstile antenna model proves that a bipolar pulse of electromagnetic field radiation is 9.5 times greater than the range compared to radio systems that operate using a unipolar monopulse and 2.37 times as compared to systems operating using harmonic oscillations. An antenna simulation model in the HFSS programming environment has been developed, which allows optimization of the antenna technical characteristics.

**Keywords:** ultra-wideband signals, a method of emitting an ultra-wideband signal, TSA, HFSS.

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Альошин С. П.	69	Келлер І. К.	53	Панова О. В.	115
Аргунов В. В.	94	Ковтунов Ю. О.	64	Пархоменко Д. О.	28
Бабкін Ю. В.	64	Колесник А. В.	13	Петров О. В.	21
Балакірева С. М.	49	Кононов В. Б.	32	Петрушенко І. М.	124
Бесова О. В.	124	Коротун Т. М.	135	Подліпасєв В. О.	4
Бірук Я. І.	115	Кривоножко А. М.	21	Рафальський Ю. І.	32
Бородіна О. О.	69	Кулаков І. П.	49	Романюк В. П.	119
Гавриленко С. Ю.	75	Куртсеїтов Т. Л.	119	Сіровий С. С.	86
Гаєвський С. В.	49	Лазута Р. Р.	64	Сокол Г. В.	135
Гайтан О. М.	69	Левченко Л. О.	111	Сургай В. М.	21
Глива В. А.	111	Лещинська І. О.	99	Тихенко О. М.	115
Головко Г. В.	44	Лещинський В. О.	99	Триснюк В. М.	119
Гребенюк Д. С.	80	Леві Л. І.	36	Трубчанінова К. А.	138
Давидов В. В.	80	Лисечко В. П.	128	Углярниця А. Г.	135
Данілов Ю. О.	53	Ліщиновська Н. О.	131	Філоненко А. М.	104
Дехніч О. О.	32	Лукашук О. В.	124	Філь І. В.	107
Дмитрієв О. М.	28	Лучко М. А.	44	Ходаковський О. В.	111
Задкова О. В.	53	Макогон О. А.	64	Чайка Є. А.	44
Заполовський М. Й.	57	Марценюк Б. В.	104	Чалий С. Ф.	99
Затхей В. А.	13	Мезенцев М. В.	57	Шевєрдін І. В.	75
Зима О. Є.	69	Мелешко О. М.	28	Шефер О. В.	44
Індик С. В.	128	Москаленко А. О.	135	Шугайло А. О.	135
Ісаков О. В.	64	Мошаренков В. В.	41	Щербак Г. В.	21
Ічанська Н. В.	86	Одарущенко О. М.	90	Щербініна Є. М.	104
Калінін І. В.	64	Олізаренко С. А.	94	Янко А. С.	107
Карлов В. Д.	124	Павленко В. М.	13		
Касаткіна Н. В.	115	Падалка І. О.	28		

Наукове видання

## СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 3 (61)

Відповідальна за випуск *К. С. Нестеренко*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук, І. Ю. Петровська*Оформлення обкладинки *І. В. Льїна*

Свідectво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

Підписано до друку 18.09.2020. Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 17,75. Тираж 120 прим. Зам. 918-20

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.

Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.

Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34

e-mail: [bookfabrik@mail.ua](mailto:bookfabrik@mail.ua)