

Національний університет  
“Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”

National University  
“Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

# СИСТЕМИ управління, навігації та зв'язку

# Control, navigation and communication systems

Випуск 2 (64)

Issue 2 (64)

## 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 31 травня 2021 року № 8).*

*Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 24464-14404 ПР 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 – наказами МОН України від 17.03.2020 № 409 та від 09.02.2021 № 157*

Полтава • 2021

## 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, доц., Київ, Україна*);  
ДАКІ Олена Анатоліївна  
(*д-р техн. наук, доц., Ізмаїл, Україна*);  
ЗАЩЕПКИНА Наталія Миколаївна  
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);  
КАСАТКИНА 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*);  
ТИМОЩУК 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  
(*д-р 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., 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*);  
Nataliia ZASHCHEPKINA  
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine*);  
Natalia KASATKINA  
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine*);  
Andriy 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  
(*Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine*).

### Technical secretary:

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

# З М І С Т

## НАВІГАЦІЯ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

<i>Бутко І. М.</i> Інформаційна технологія використання геопросторових інформаційних структур .....	4
<i>Шульга О. В., Сокірина В. О.</i> Вибір та обґрунтування методу управління потоками інформації вимірювальних систем для вдосконалення функціональних доповнень супутникових радіонавігаційних систем .....	11

## АВІАЦІЙНИЙ ТРАНСПОРТ

<i>Мажара І. П., Тимочко О. І.</i> Нечітка нейронна мережна модель інформаційної системи управління повітряним рухом .....	17
<i>Масягін В. І., Сушак М. Б., Бездільний В. В.</i> Визначення ймовірних властивостей процесу гарантійного обслуговування зразків авіаційної техніки, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників ....	21

## УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Запаловський М. Й., Мезенцев М. В.</i> Цифрова модель системи керування електроприводу дизель-поїзда .....	26
<i>Кононов В. Б., Кононова О. А., Олексюк В. В.</i> Методи та принципи побудови засобів вимірювання вологості середовища .....	31
<i>Кудімов С. А., Табуненко В. О.</i> Методика визначення рівня бойової живучості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами Національної гвардії України завдань за призначенням .....	34
<i>Мартовичський В. О., Даниленко Д. О., Лукашов С. А., Росінський Д. М., Сухотеплий В. М.</i> Метод прийняття рішення при відборі (рекрутингу) персоналу на основі нечітких когнітивних карт .....	39
<i>Очеретенко С. В.</i> Управління складськими запасами та їх оптимізація на підприємствах по ремонту автомобілів .....	50

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Aloshyn S., Khomenko I., Fursova N.</i> COVID-19 coronavirus screening analysis neural network technology .....	53
<i>Борисенко О. А., Бережна О. В., Маценко С. М., Сердюк В. В., Горішняк А. О., Васильєв В. П.</i> Нероздільні коди в системах обробки інформації .....	58
<i>Вінокуров А. І., Молчанов Г. І.</i> Переваги динамічних веб-сторінок над статично-генерованими .....	63
<i>Golovko G., Borozdin M., Tokar Y.</i> The need to implement automation and information system in the management of the restaurant business .....	67
<i>Zhang Liqiang, Cao Weiling, Davydov V., Brechko V.</i> Analysis and comparative research of the main approaches to the mathematical formalization of the penetration testing process .....	70
<i>Ivanisenko I.</i> Dynamic method of distributed system load balancing evaluate .....	74
<i>Коваленко А. А., Ярошевич Р. О., Баленко О. І.</i> Internet of Things: проблеми інформаційної безпеки та методи покращення .....	78
<i>Левченко Л. О., Ходаковський О. В., Колумбет В. П.</i> Методологічні підходи до автоматизації проектування електромагнітних екранів .....	81
<i>Lomanchenko A., Khloponin O., Derkach T., Dmytrenko T.</i> Technological characteristics of the e-learning systems development .....	84
<i>Підгорний М. В., Рахімі Я.</i> Системний підхід до побудови інформаційної технології підвищення ефективності ланцюга постачань товарів .....	89
<i>Поворознюк А. І., Поворознюк О. А., Філатова Г. Є.</i> Багатокритеріальна оцінка альтернатив при проектуванні двохфакторної автентифікації суб'єктів-користувачів в системах захисту інформації .....	92
<i>Раскін Л. Г., Сіра О. В., Парфенюк Ю. Л.</i> Управління поставками в умовах малої вибірки випадкових вихідних даних .....	96
<i>Terstantsev D., Tsirulis R., Dmytrenko A., Derkach T.</i> Comparative analysis of infotainment systems .....	102

## ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

<i>Дакі О. А., Урум Н. С., Федунів В. М., Бажак О. В.</i> Інформаційно-аналітичні моделі пошуково-рятувальних операцій в прибережній акваторії .....	107
<i>Іванець Г. В., Іванець М. Г., Толкунов І. О., Попов І. І.</i> Формалізована математична модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації .....	112
<i>Кацман М. Д., Мацюк В. І., Лапін П. В.</i> Математична модель охорони об'єктів критичної інфраструктури .....	119

## ЗВ'ЯЗОК, ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА

<i>Грохольський Я. М., Сакович Л. М., Криховецький Г. Я.</i> Військовий зв'язок у початковий період ліквідації аварії на Чорнобильській АЕС .....	125
<i>Дорошенко Д. В.</i> Методика виявлення несанкціонованих обчислювальних процесів інформаційно-телекомунікаційних систем .....	132
<i>Зінченко О. В., Вишнівський В. В., Гладких В. М., Прокопов С. В., Звенигородський О. С.</i> Аналітичне моделювання SDN / NFV .....	136
<i>Карлов В. Д., Леонов І. Г., Нос А. І., Леушин С. Г., Олещук М. М.</i> Експериментальні дослідження пасивних перешкод поблизу Азовського моря при наявності тропосферного радіохвилеводу у дециметровому діапазоні хвиль .....	140
<i>Колодійцев О. В., Алнаєрі Фрхат Алі, Петровська І. Ю.</i> Метод розрахунку розміру буферної пам'яті самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі .....	144
<i>Кучук Г. А., Пустовойтов П. Є., Лебедєв О. Г., Лимаренко В. В.</i> Метод розрахунку коефіцієнта кореляції фрактального трафіка .....	148
<i>Майборода І. М., Глуценко М. О., Лазарев В. Д.</i> Методика проведення технічного обслуговування цифрових засобів зв'язку .....	153
<i>Одінцов В. О.</i> Розроблення методики оптимізації опромінювача параболічної антени діапазону 4,5 – 4,7 ГГц .....	157
<i>Почерняєв В. М., Зайченко В. В., Повхліб В. С.</i> Система управління, контролю та діагностики для комбінованої радіотехнічної системи .....	161
<i>Серков О. А., Кучук Н. Г., Лазуренко Б. О., Горюшкіна А. Е.</i> Метод формування інформаційних сигналів в системі Industrial Internet of Things .....	166
<i>Shefer O., Marchenko V., Cherneva G. P.</i> Plasma new selective properties for efficient use in electronics and telecommunications .....	171

<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	175
----------------------------------	-----

І. М. Бутко

ДП «Центр Державного земельного кадастру», Київ, Україна

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СТРУКТУР

**Анотація.** Предметом вивчення в статті є інформаційна технологія обробки використання геопросторових інформаційних структур. Метою є удосконалення інформаційної технології обробки використання геопросторових інформаційних структур. Використовуваними методами є: методи теорії імовірності, математичної статистики, методи оптимізації, математичного моделювання та цифрової обробки зображень, аналітичні та емпіричні методи порівняльного дослідження. Отримані такі результати. В IDEF0-нотації описані етапи основного процесу прийняття управлінських рішень на основі аналізу геопросторової інформації. Наведена декомпозиція основного процесу прийняття управлінських рішень на основі аналізу геопросторової інформації, декомпозиція підпроцесу проведення тематичної інтерпретації видових зображень інформації, декомпозиція підпроцесу оцінювання апріорних імовірностей, декомпозиція підпроцесу прогнозування апріорних імовірностей та декомпозиція підпроцесу вибору оптимального рішення. **Висновки.** Удосконалено інформаційну технологію використання геопросторових інформаційних структур, яка, на відміну від відомих, базується на розроблених моделях формування видових зображень, тематичної інтерпретації видових зображень, прогнозування геопросторових даних та прийняття управлінських рішень і методах семантичної сегментації видових зображень та прийняття управлінських рішень на основі аналізу геопросторової інформації, що дозволяє формалізувати та автоматизувати процеси аналізу геопросторових даних, задовільнити зростаючі вимоги до систем обробки геопросторової інформації в умовах ризику та невизначеності та дозволяє приймати на їх основі обґрунтовані управлінські рішення.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, декомпозиція підпроцесу, геопросторова інформаційна структура, геопросторова інформація, прийняття управлінських рішень.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** На сьогоднішній день розвиток багатьох сфер людської діяльності базується на впровадженні та подальшому розвитку інформаційних технологій, найважливішою складовою частиною яких є засоби обробки цифрової інформації [1-2]. Цифрова інформація про місцевість та об'єкти інтересу, в свою чергу, необхідна для прийняття обґрунтованих управлінських рішень органами державної влади [3]. Така картографічна, топографо-геодезична, аерокошмічна інформація, яка представлена у цифровому вигляді, є дуже зручною завдяки візуалізації великої кількості різномірної інформації та дає можливість вирішення цілого комплексу різних завдань управління, планування та використання ресурсів в різних галузях людської діяльності. Для цього необхідні комплексні спеціалізовані методики автоматизованого прийняття управлінських рішень, які засновані на обробці геопросторової інформації та які реалізовані в складі систем підтримки прийняття рішень.

Кожне управлінське рішення органами державної влади будь-якого рівня пов'язано з геопросторовим розташуванням об'єкту інтересу на місцевості. Тому прийняття оперативних, об'єктивних та обґрунтованих управлінських рішень можливе за рахунок проблемно-орієнтованих геоінформаційних систем, які вже сьогодні є невід'ємною частиною сучасних систем підтримки прийняття рішень органами державної влади [4-5]. За допомогою ГІС-технологій інтегруються просторові дані, які надходять з великої кількості різних джерел на усіх рівнях. Це до-

зволяє значно скоротити час, який необхідний для оцінки обстановки на місцевості, розробки плану дій та прийняття рішення органами державної влади. При цьому для вирішення різних завдань управління використовується різні види даної цифрової інформації.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Проведений аналіз показав, що на сьогодні в Україні існує значна кількість геоінформаційних систем різного призначення із великим об'ємом накопиченої інформації, яка постійно оновлюється [2-3,5]. Великі об'єми геопросторових даних, достатньо складні структурно-геометричні форма та розташування об'єктів на зображеннях, обов'язковий облік в обчисленні кількісних атрибутів, складності координатної прив'язки та наступного аналізу визначають значні затрати часу на прийняття управлінських рішень [8]. Тому існує проблема оперативного та автоматизованого використання такої інформації при прийнятті рішень на основі аналізу геопросторової інформації, що дозволило б суттєво зменшити долю суб'єктивних помилок при прийнятті управлінських рішень.

Потреби в постійно оновлюючій географічній інформації та потужні можливості проаналізованих геоінформаційних систем стимулюють розвиток інформаційних технологій, які будуть розглядатися у вигляді деякої сукупності функцій, які певним чином пов'язані одна з одною та будуть реалізувати прийоми, методи та способи, що забезпечують отримання, збирання, обробку, передачу, збереження, використання та поширення геопросторових даних та які будуть побудовані на основі теорії оброб-



ки і перетворення геопросторової інформації шляхом імплементації моделей і методів використання геопросторових інформаційних структур [9-11].

Існуючі інформаційні технології використання геопросторових інформаційних структур базуються на існуючих моделях та методах прийняття управлінських рішень, які розроблені лише для галузевих геоінформаційних систем, тобто для систем, які вивчають проблеми лише однієї галузі та не можуть задовільнити постійно зростаючим вимогам до систем обробки геопросторової інформації в умовах ризику та невизначеності [].

**Мета статті** – удосконалити інформаційну технологію використання геопросторових інформаційних структур, яка буде базуватися на розроблених моделях формування видових зображень, тематичній інтерпретації видових зображень, прогнозуванні геопросторових даних та прийнятті управлінських рішень і методах семантичної сегментації видових зображень та прийняття управлінських рішень на основі аналізу геопросторової інформації.

**Основна частина**

В IDEF0-нотації основний процес прийняття управлінських рішень на основі аналізу геопросторової інформації складається із таких елементів [11]:

- 1) вхід – це видові зображення та додаткова геопросторова інформація (карти, статистичні дані тощо); матриця оцінок рішень;
- 2) вихід – управлінське рішення;
- 3) управління представляє собою:
  - законодавчі та відомчі документи, що регулюють процес прийняття управлінських рішень;
  - вимоги інформативності, універсальності,

оперативності, точності, об'єктивності, прогнозоспроможності, криптостійкості;

- теоретичні методи – лінійна алгебра, аналітична геометрія, теорія матриць, дискретна математика, теорія імовірностей, теорія стохастичних процесів, теорія прийняття оптимальних рішень, дескриптивна статистика, методи оптимізації, методи бінаризації, методи сегментації, методи обробки часових рядів, методи прогнозування [12];

4) механізми органу прийняття рішення, оператори, апаратні та програмні засоби.

Основний процес прийняття управлінських рішень на основі аналізу геопросторової інформації наведено на рис. 1.

На рис. 2 наведена декомпозиція основного процесу прийняття управлінських рішень на основі аналізу геопросторової інформації.

Декомпозиція основного процесу проводиться на 4 підпроцеси 1 рівня:

На рис. 2 наведена декомпозиція основного процесу прийняття управлінських рішень на основі аналізу геопросторової інформації.

Декомпозиція основного процесу проводиться на 4 підпроцеси 1 рівня:

**1) провести тематичну інтерпретацію:**

- вхід – видові зображення, додаткова геопросторова інформація;
- вихід – маски класів об'єктів;
- управління – вимоги інформативності, оперативності, точності, об'єктивності; лінійна алгебра, теорія матриць, методи оптимізації, методи бінаризації, методи сегментації;
- механізми – оператор тематичної інтерпретації, апаратні та програмні засоби;

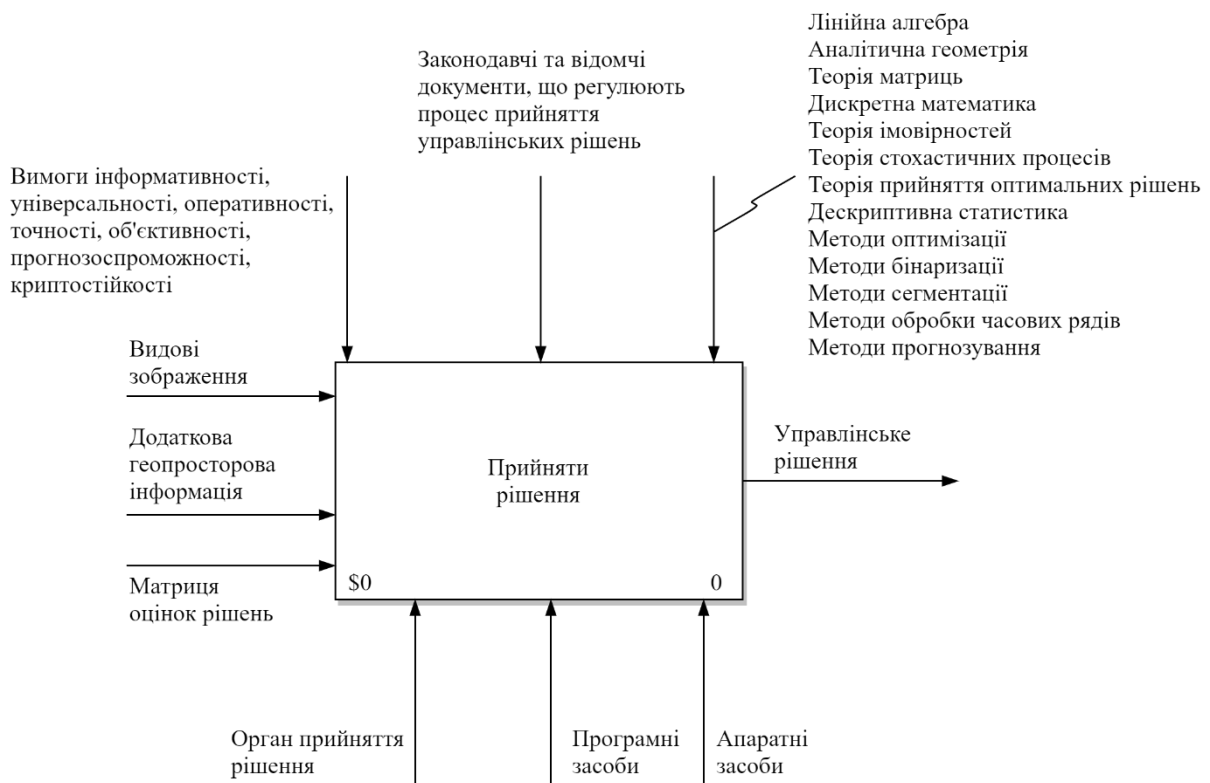


Рис. 1. Основний процес прийняття управлінських рішень на основі аналізу геопросторової інформації

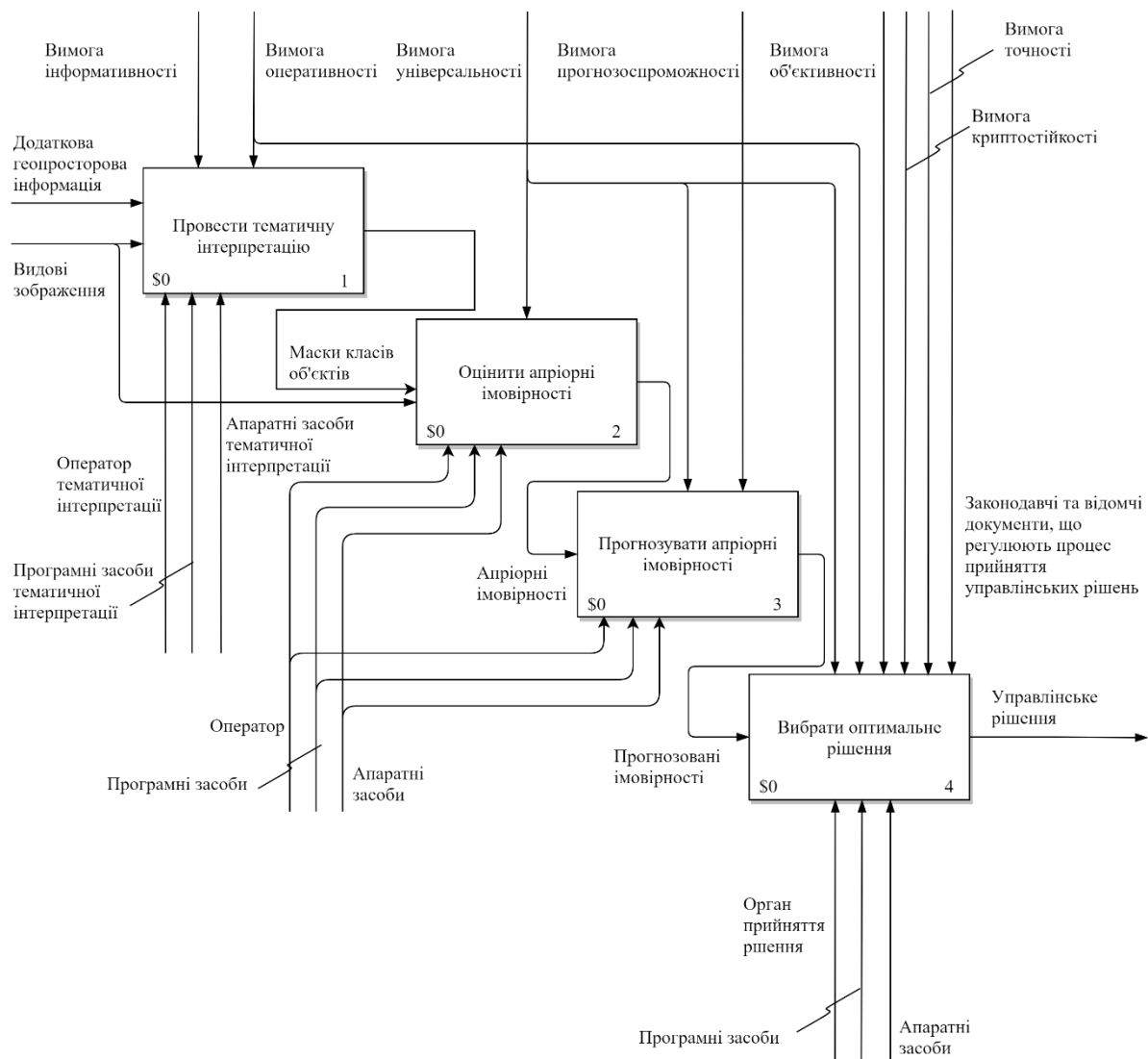


Рис. 2. Декомпозиція основного процесу прийняття управлінських рішень на основі аналізу геопросторової інформації

## 2) оцінити апіорні імовірності:

- вхід – маски класів об'єктів;
- вихід – апіорні імовірності;
- управління – вимоги інформативності, універсальності, оперативності, точності, об'єктивності, прогнозоспроможності; методи оптимізації, аналітична геометрія, лінійна алгебра, гомографія;
- механізми – оператор, апаратні та програмні засоби;

## 3) прогнозувати апіорні імовірності:

- вхід – апіорні імовірності;
- вихід – прогнозовані імовірності;
- управління – вимоги інформативності, оперативності, точності, об'єктивності, прогнозоспроможності; теорія імовірностей, теорія стохастичних процесів, описативна статистика, методи оптимізації, методи обробки часових рядів, методи прогнозування;
- механізми – оператор, апаратні та програмні засоби;

## 4) вибрати оптимальне рішення:

- вхід – прогнозовані імовірності; матриця оцінок рішень;

– вихід – управлінське рішення;

- управління – законодавчі та відомчі документи, що регулюють процес прийняття управлінських рішень; вимоги інформативності, універсальності, оперативності, точності, об'єктивності, прогнозоспроможності, криптостійкості; теорія матриць, дискретна математика, теорія імовірностей, теорія прийняття оптимальних рішень, методи оптимізації;
- механізми – орган прийняття рішення, апаратні та програмні засоби.

Декомпозиція підпроцесу проведення тематичної інтерпретації видових зображень проводиться на 3 підпроцеси 2 рівня (рис. 3):

### 1) підготувати дані для тренування:

- вхід – видові зображення, додаткова геопросторова інформація;
- вихід – анотовані дані (де на зображенні розмічено області для кожного класу);
- управління – вимоги інформативності, оперативності, точності, об'єктивності; методи оптимізації, бінаризації, сегментації; описативна статистика;
- механізми – оператор тематичної інтерпретації, апаратні та програмні засоби;

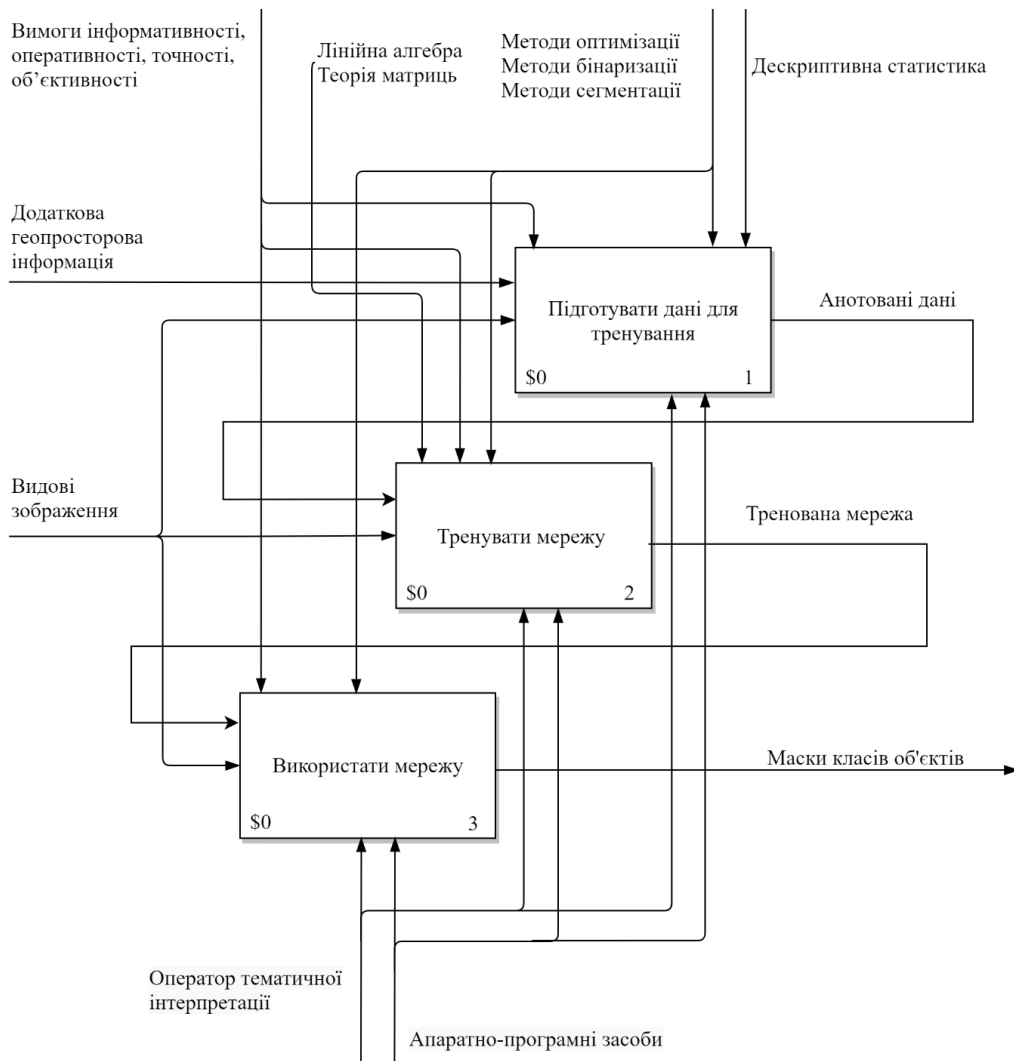


Рис. 3. Декомпозиція підпроцесу проведення тематичної інтерпретації видових зображень інформації

**2) тренувати мережу:**

- вхід – анотовані дані;
- вихід – тренована мережа (коефіцієнти мережі для кожного її шару);

– управління – вимоги інформативності, універсальності, оперативності, точності, об'єктивності, прогнозоспроможності; методи оптимізації, аналітична геометрія, лінійна алгебра, гомографія [14];

– механізми – оператор тематичної інтерпретації, апаратні та програмні засоби;

**3) використати мережу:**

- вхід – видові зображення; тренована мережа;
- вихід – маски класів об'єктів (тематично інтерпретоване зображення);

– вимоги інформативності, оперативності, точності, об'єктивності; методи оптимізації, бінарзації, сегментації;

– механізми – оператор тематичної інтерпретації, апаратні та програмні засоби.

Декомпозиція підпроцесу оцінювання апіорних імовірностей проводиться на 2 підпроцеси 2 рівня (рис. 4):

**1) провести геоприв'язку:**

- вхід – маски класів об'єктів; додаткова геопросторова інформація;

- вихід – перетворені координати;
- управління – вимоги інформативності, універсальності, оперативності, точності, об'єктивності, прогнозоспроможності, криптостійкості; методи оптимізації, аналітична геометрія, лінійна алгебра, гомографія;

– механізми – оператор, апаратні та програмні засоби;

**2) розрахувати імовірності:**

- вхід – маски класів об'єктів; перетворені координати;

– вихід – апіорні імовірності;

– управління – вимоги помітності, простоти, інформаційності, орієнтованості, робастності, криптостійкості, універсальності; дискретна математика, дескриптивна статистика, аналітична геометрія, теорія імовірностей;

– механізми – оператор, апаратні та програмні засоби.

Декомпозиція підпроцесу прогнозування апіорних імовірностей проводиться на 2 підпроцеси 2 рівня (рис. 5):

**1) побудувати ансамбль ARIMA:**

- вхід – апіорні імовірності;
- вихід – ансамбль моделей ARIMA;

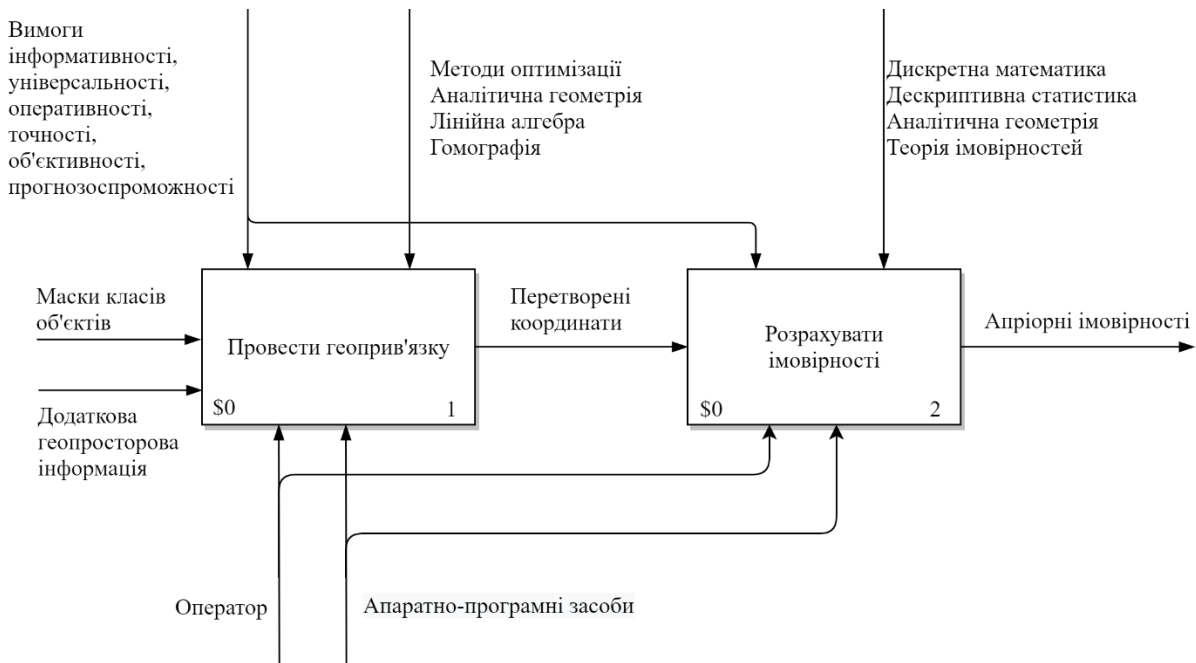


Рис. 4. Декомпозиція підпроцесу оцінювання апріорних імовірностей

– управління – вимоги інформативності, оперативності, точності, об'єктивності, прогнозоспроможності; теорія імовірностей, теорія стохастичних процесів, дескриптивна статистика, методи оптимізації, методи обробки часових рядів, методи прогнозування;

– механізми – оператор, апаратні та програмні засоби;

2) **вибрати оптимальний прогноз:**

– вхід – ансамбль моделей ARIMA;

– вихід – прогнозовані імовірності;

– управління – вимоги інформативності, оперативності, точності, об'єктивності, прогнозоспроможності; теорія імовірностей, теорія стохастичних процесів, дескриптивна статистика, методи оптимізації, методи обробки часових рядів, методи прогнозування;

– механізми – оператор, апаратні та програмні засоби.

Декомпозиція підпроцесу вибору оптимального рішення проводиться на 3 підпроцеси 2 рівня (рис. 6):

1) **визначити найбільш імовірний стан:**

– вхід – прогнозовані імовірності;

– вихід – індекс стану;

– управління – вимоги інформативності, універсальності, оперативності, точності, об'єктивності, прогнозоспроможності, криптостійкості; теорія матриць, дискретна математика, теорія імовірностей, теорія прийняття оптимальних рішень, методи оптимізації;

– механізми – орган прийняття рішення, апаратні та програмні засоби;

2) **порахувати оціночний функціонал:**

– вхід – індекс найбільш імовірного стану; матриця оцінок рішень;

– вихід – вектор значень оціночного функціоналу для найбільш імовірного стану;

– управління – вимоги інформативності, універсальності, оперативності, точності, об'єктивності, прогнозоспроможності, криптостійкості; теорія матриць, дискретна математика, теорія імовірностей, теорія прийняття оптимальних рішень, методи оптимізації;

– механізми – орган прийняття рішення, апаратні та програмні засоби;

3) **знайти рішення, що максимізує функціонал:**

– вхід – індекс найбільш імовірного стану; матриця оцінок рішень;

– вихід – вектор значень оціночного функціоналу для найбільш імовірного стану;

– управління – законодавчі та відомчі документи, що регулюють процес прийняття управлінських рішень; вимоги інформативності, універсальності, оперативності, точності, об'єктивності, прогнозоспроможності, криптостійкості; теорія матриць, дискретна математика, теорія імовірностей, теорія прийняття оптимальних рішень, методи оптимізації;

– механізми – орган прийняття рішення, апаратні та програмні засоби.

Таким чином, удосконалено інформаційну технологію використання геопросторових інформаційних структур, яка, на відміну від відомих, базується на розроблених моделях формування видових зображень, тематичної інтерпретації видових зображень, прогнозування геопросторових даних та прийняття управлінських рішень і методах семантичної сегментації видових зображень та прийняття управлінських рішень на основі аналізу геопросторової інформації, що дозволяє формалізувати та автоматизувати процеси аналізу геопросторових даних, задовільнити зростаючі вимоги до систем обробки геопросторової інформації в умовах ризику та невизначеності та дозволяє приймати на їх основі обґрунтовані управлінські рішення.

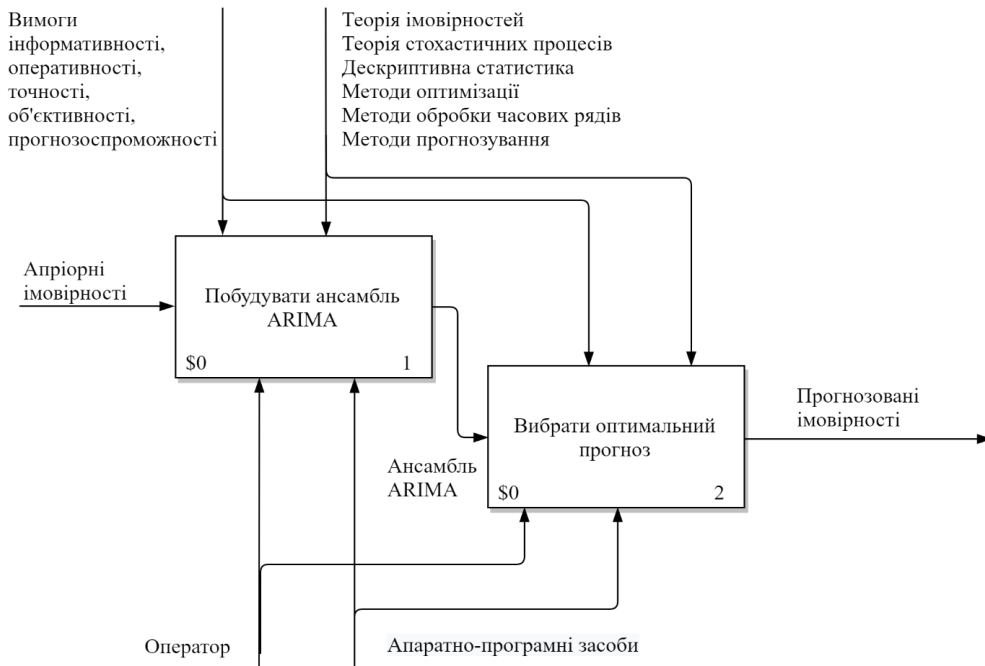


Рис. 5. Декомпозиція підпроцесу прогнозування апріорних імовірностей

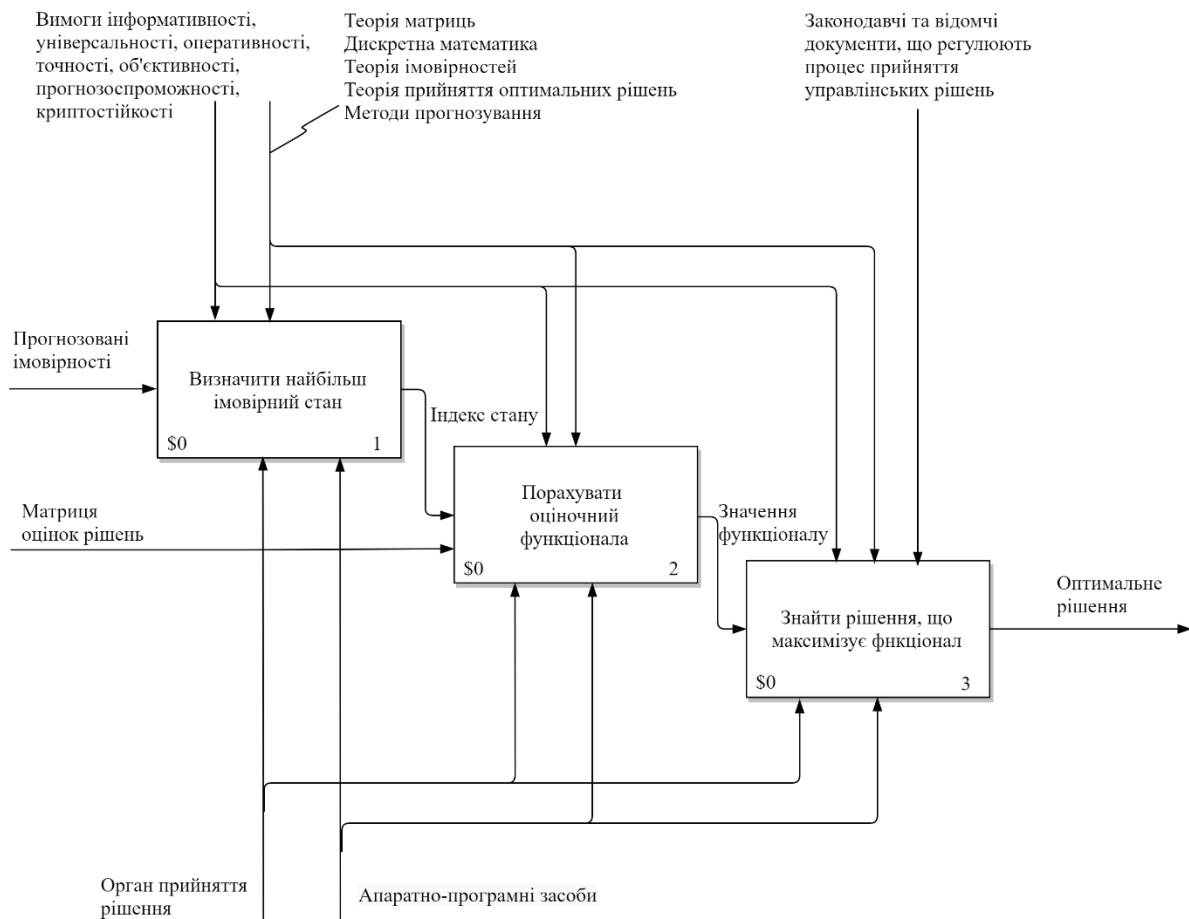


Рис. 6. Декомпозиція підпроцесу вибору оптимального рішення

### Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, удосконалено інформаційну технологію використання геопросторових інформа-

ційних структур, яка, на відміну від відомих, базується на розроблених моделях формування видових зображень, тематичної інтерпретації видових зображень, прогнозування геопросторових даних та прийняття управлінських рішень і методах семан-

тичної сегментації видових зображень та прийняття управлінських рішень на основі аналізу геопросторової інформації. Це дозволяє формалізувати та автоматизувати процеси аналізу геопросторових даних, задовільнити зростаючі вимоги до систем обробки геопросторової інформації в умовах ризику та невизначеності та дозволяє приймати на їх

основі обґрунтовані управлінські рішення. Удосконалена інформаційна технологія використання геопросторових інформаційних структур побудована на основі теорії обробки і перетворення геопросторової інформації шляхом імплементації моделей і методів використання геопросторових інформаційних структур.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Худов В. Г. Інформаційна технологія тематичного сегментування зображень бортових систем оптико-електронного спостереження з використанням методології системного моделювання IDEF0 / В. Г. Худов // Сучасні інформаційні системи [Advanced Information Systems]. – 2018. – Vol. 2. – № 4. – Р. 64–69.
2. Карпінський Ю. Геоінформаційні технології: нові парадигми і нові ризики топографо-геодезичної та картографічної діяльності / Ю. Карпінський, А. Лященко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. — Вип. II (22). — 2011. — С. 43-48.
3. Бутко І. М. Використання даних геопросторового моніторингу для прийняття управлінських рішень / І. М. Бутко // Ukraine – EU. Modern Technology, Business and Law : collection of intern. scientific papers : in 2 parts. Part 1. Modern Priorities of Economics. Societal Challenges, April, 03-08, 2017 : thesis of reports. — Chernihiv, 2017. — Р. 87–89.
4. Радейко Р. І. Теоретико-правові аспекти вирішення проблеми формалізації права / Р. І. Радейко // Право і суспільство. – 2013. – Вип. 6(2). – С. 42–46.
5. Бутко І. М. Використання інформації дистанційного зондування в інтересах реінтеграції тимчасово окупованих територій Управління та адміністрування в умовах протидії гібридним загрозам національній безпеці: Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції (м. Київ, 7 грудня 2020 року). К.: ДУІТ. 2020. – С. 111-113.
6. Butko I. The use of geospatial information by public authorities to support the decision making of management / I. Butko // Advanced Information Systems. — 2021. — № 5(1). — Р. 39-44.
7. Бутко І. М. Розробка методу підтримки прийняття рішення при реінтеграції тимчасово окупованих територій з використанням інформації систем дистанційного зондування Землі / І. М. Бутко, Г. В. Худов // Новітні технології – для захисту повітряного простору : 17 міжнар. наук. конф., 15-16 квіт. 2021 р. : тези допов. — Харків, 2021. — С. 575.
8. Бутко І. М. Формалізація технології використання геопросторових структур в системах обробки геопросторової інформації / І. М. Бутко // Системи управління, навігації та зв'язку. — № 1(63). — 2021. — С. 17–22.
9. Субботін С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки рішень: навчальний посібник / С. О. Суботін. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. — 341 с.
10. Олизаренко С. А. Методика формування платформи для моделювання глибокого навчання в інтересах розробки систем автоматизованого дешифрування аэроснимков / С. А. Олизаренко, О. Ю. Лавров, В. А. Капранов // Системи обробки інформації. — 2016. — № 9 (146). — С. 41–43.
11. Дэвид М. А. Методология структурного анализа и проектирования SADT / М. А. Дэвид, М. Г. Клемент. – М.: Мир, 1993. – 240 с.
12. Лістровий С. В. Теорія автоматичного керування, штучний інтелект і автоматизація процесу прийняття рішення : навчальний посібник / С. В. Лістровий, М. А. Мірошник, Л. А. Клименко. — Харків: УкрДУЗТ, 2019. — 120 с.
13. Лубко Д. В. Методи та системи штучного інтелекту : навч. посіб. / Д. В. Лубко, С. В. Шаров. — Мелітополь, 2019. — 264 с.
14. Маценко В. Г. Математичне моделювання: навчальний посібник / В. Г. Маценко. — Чернівці: Чернівецький національний університет, 2014. — 519 с.

Received (Надійшла) 28.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.04.2021

### Information technology of using geospatial information structures

Ihor Butko

**Abstract.** The **subject of study** in the article is the information technology of processing the use of geospatial information structures. The **goal** is to improve the information technology of processing the use of geospatial information structures. The **methods** used are: methods of probability theory, mathematical statistics, methods of optimization, mathematical modeling and digital image processing, analytical and empirical methods of comparative research. The following **results** were obtained. The IDEF0 notation describes the stages of the main management decision-making process based on the analysis of geospatial information. The decomposition of the main process of making managerial decisions based on the analysis of geospatial information, decomposition of the subprocess of thematic interpretation of species images of information, decomposition of the subprocess of a priori probability estimation, decomposition of the subprocess of a priori probability forecasting and decomposition of the subprocess. **Conclusions.** Improved information technology using geospatial information structures, which, in contrast to the known, is based on the developed models of species imaging, thematic interpretation of species images, forecasting geospatial data and management decisions and methods of semantic segmentation of species images and management analysis. geospatial information. This, in turn, allows to formalize and automate the processes of analysis of geospatial data, to meet the growing requirements for geospatial information processing systems in conditions of risk and uncertainty and allows to make informed management decisions based on them.

**Keywords:** information technology, decomposition of the subprocess, geospatial information structure, geospatial information, management decision making.

О. В. Шульга, В. О. Сокіріна

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

## ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ІНФОРМАЦІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ДОПОВНЕНЬ СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Анотація.** Аналітичні дані вимог повітряних, морських, сухопутних, річкових, космічних споживачів, порятункових служб за визначенням місцезнаходження об'єктів показують, що вимоги значно залежать від задач, які належить вирішувати різним групам споживачів. При цьому, узагальнені вимоги охоплюють вимоги до робочих зон радіонавігаційних систем (РНС), точності визначення просторово-часових координат (СКП) - середньоквадратична похибка, доступності (ймовірність обслуговування) та цілісності (ймовірність виявлення помилки і/або проміжку часу, протягом якого порушення виявиться). Вимоги, що висувуються до забезпечення абонентів частотно-часовими координатами (наприклад, до телекомунікаційних систем), то поки ще не в повній мірі узагальнено вимоги до забезпечення точнісних характеристик. В той же час практичний досвід показує актуальну потребу в отриманні інформації про точний час, і також у частотних еталонах високої стабільності. Це має пряме відношення до синхронізації синхронних швидкодіючих ліній передачі інформації, що основані на принципах синхронної цифрової ієрархії (СЦІ), а ті, що використовують тактову мережеву синхронізацію (ТМС) - до синхронізації базових станцій мобільних систем динамічного зв'язку тощо. **Мета статті** полягає у розгляді та аналізі застосування радіонавігаційного плану України (РПУ), що охоплює використання РНС і засобів цивільного та подвійного застосування, що керуються різними відомствами. Крім того визначено, що РПУ не включає радіотехнічні системи, які виконують оглядові функції або функції телекомунікаційних систем зв'язку. Вказано, що він не включає автоматичні системи ідентифікації (АСІ), чи систем АЗС (автоматичне залежне спостереження), але охоплює навігаційні засоби, на яких базуються описані системи. На етапі формування і розроблення РПУ проведений аналіз теперішнього стану та розвитку всіх РНС (існуючих, а також тих, що використовуватимуться в перспективі), а крім того відповідності їх можливостей висунутим до радіонавігаційних засобів (РНЗ) вимогам різних категорій споживачів. Виявлено, що для задоволення вимог точності місцезнаходження серед радіонавігаційних систем СКП повинна мати значення менше 10м, що зараз має відповідність лише із супутниковими радіонавігаційними системами (СРНС).

**Ключові слова:** супутникова радіонавігаційна система, навігаційні супутники, космічний сегмент, наземний керуючий сегмент, сузір'я навігаційних супутників, диференціальний режим супутникової навігації, системи функціонального доповнення, супутникове доповнення.

### Постановка проблеми

Взаємне проникнення обчислювальної техніки в техніку зв'язку та техніку зв'язку в обчислювальну техніку привели до розробки високоорганізованих адаптивних систем управління мережами зв'язку та потоками інформації. Такі адаптивні системи управління забезпечують усунення або ослаблення впливу виникаючих несправностей окремих елементів мережі і зміни в часі потоків інформації між абонентами і вузлами мережі на якість обслуговування заявоч абонентів і якість передачі інформації.

Наприклад, система управління, знайшовши погіршення якісних характеристик тих або інших каналів, перебудовує порядок вибору каналів так, що ці канали будуть займатися в останню чергу.

Аналогічно може бути побудована адаптивна система управління, що дозволяє зменшити або імовірність втрат викликів, або час затримки встановлення з'єднання, тобто час перебування інформації (наприклад, даних) у мережі за рахунок вибору оптимального шляху її передачі в умовах, що створилися в цей момент часу на мережі.

### Актуальність дослідження

Одним із складових елементів сучасного суспільства є радіонавігаційне забезпечення, доступне для

вирішення необхідних завдань у всіх сферах народного господарства і науки.

В умовах постійно зростаючих вимог до точності навігаційного позиціонування об'єктів з'являється необхідність дослідження і розробки якісно нових методів і підходів обробки інформації, які б уможливили підвищення ефективності роботи GNSS (Global Navigation Satellite System) систем і забезпечення ними характеристик, які б відповідали вимогам різних видів споживачів, а також продовження розвитку спрямованого на задоволення насамперед параметрів доступності і цілісності.

Прийнято, що основу РНЗ України повинна складати СРНС Galileo, а ГЛОНАСС (Росія) і GPS (США) – як допоміжні, з урахуванням розвитку і використання функціональних доповнень СРНС, а також обґрунтованої гармонізованої підтримки і використання розгорнутих в на теперішній час радіонавігаційних систем наземного базування.

При цьому виникає необхідність розвитку радіонавігаційних засобів в області інформаційних систем для радіонавігації. Так, необхідно передбачити створення комплексного споживчого центру і системи інформаційного забезпечення широкого круга споживачів про стан і можливості застосування систем Galileo, ГЛОНАСС і GPS та їх функціональних доповнень.

Функціональні доповнення мають у своєму складі наземні контрольні станції, які корегують інформаційні дані, отримані із супутників GNSS, таким чином підвищуючи точність визначення просторово-часових координат. Варто підкреслити, що якість роботи таких систем напряму залежить від актуальності надходження коригуючих даних, а отже, від швидкості їх поширення між вузлами мережі ККС.

Мережі ККС являють собою інформаційні телекомунікаційні мережі, які для ефективного функціонування повинні мати високотехнічну структуру та бути забезпечені автоматизованою системою управління.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розвиток сучасного суспільства важко уявити без радіонавігаційного забезпечення безпечного руху об'єктів [1].

Відомо, що починаючи з останніх десятиліть двадцятого сторіччя, за кордоном розпочали виходити Федеральні радіонавігаційні плани (ФРП) з частотою раз на 2-3 роки (в США) для здійснення радіонавігаційного обґрунтування і планування напрямку розвитку радіонавігаційних систем [2].

У США із січня 2009 року діє ФРП розроблений в 2008 році [3].

Останні роки в Європі також виходять Європейські радіонавігаційні плани, в яких також розглядаються важливі питання, які пов'язані з направленістю розвитку РНЗ.

Нові умови розвитку українського суспільства, національної економіки, використання в силових структурах систем навігації, а також і можливостями перспективами вдосконалення техніко-технологічних засобів РНЗ породжують необхідність розроблення нових редакцій радіонавігаційного плану України (РПУ).

Варто відмітити, що в розробці Плану потрібно врахувати велику кількість програмних і плануючих документів, що присвячені розвитку РНЗ і гармоні-

зації національних навігаційних систем наземного, повітряного і водного транспорту, а також радіонавігаційних систем, що використовуються іноземними державами.

Разом з тим постає необхідність відтворення та доведення до заданих значень характеристик РНС у відповідності до заданих вимог, а також в подальшому розвитку в напрямі покращення характеристик і параметрів, в першу чергу зв'язаних з підвищенням доступності та цілісності.

Через це вважається, що після 2009 року основною системою РНЗ України має складати СРНС Galileo, а ГЛОНАСС (Росія) і GPS (США) – як допоміжні, із врахуванням розвитку та використання функціональних доповнень СНС, а також для забезпечення обґрунтованої гармонізованої підтримки і використання функціонуючих на сьогодні наземних РНС [4, 5 – 10, 11].

В такому випадку необхідним є розвиток РНЗ у сфері інформаційних систем для радіонавігації. Так необхідно передбачити створення прикладного споживчого центру та системи забезпечення інформаційними даними, що передбачає розробку розподіленого прикладного споживчого центру як системи інформаційного забезпечення широкого кола споживачів про стан і можливість застосування систем GALILEO, ГЛОНАСС та GPS.

Необхідним також представляється передбачення розробки засобів слідкування за електромагнітною обстановкою в діапазонах сигналів радіонавігаційних засобів.

**Мета статті** полягає у результаті аналізу сучасного стану та перспектив розвитку супутникових радіонавігаційних систем розробити спосіб підвищення якості роботи їх телекомунікаційного забезпечення шляхом застосування принципів і методів динамічного управління потоками інформації.

### Виклад основного матеріалу

Супутникова радіонавігаційна система (СРНС) – це високотехнологічна інформаційна система, що складається з п'яти основних сегментів (рис. 1).

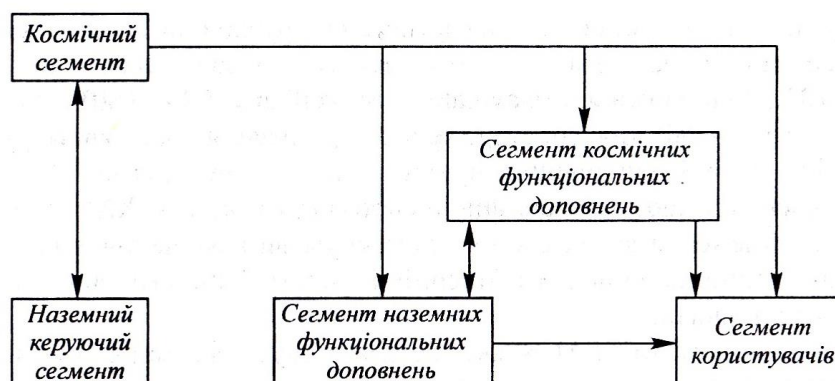


Рис. 1. Блок-схема супутникової радіонавігаційної системи

Принцип дії систем полягає в тому, що навігаційні супутники випромінюють спеціальні електромагнітні сигнали. Апаратура споживачів, установлена на об'єктах, розташованих на поверхні

Землі чи в навколосемному просторі, приймає ці сигнали і після оброблення видає інформацію про місцезонаження та швидкість об'єкта в реальному часі чи в заданий момент часу.



Космічний сегмент є системою навігаційних супутників, що рухаються по еліптичних орбітах навколо Землі.

На кожній орбіті перебувають декілька супутників. Навігаційний супутник має на борту стандарт часу та радіоелектронну апаратуру, що випромінює в напрямку Землі шумоподібні безперервні радіосигнали.

Ці сигнали містять інформацію, необхідну для проведення навігаційних визначень за допомогою апаратури споживача.

Наземний керуючий сегмент у своєму складі має центр керування космічним сегментом, радіолокаційні й оптичні станції спостереження за навігаційними супутниками та апаратуру контролю за станом навігаційних супутників.

Керуючий сегмент:

- визначає, прогнозує й уточнює параметри руху навігаційних супутників,
- формує й передає в бортову апаратуру супутників відповідну цифрову інформацію,
- виконує ряд контрольних і профілактичних функцій.

Сегменти космічних і наземних функціональних доповнень являють собою апаратно-програмні комплекси, призначені для забезпечення точності навігаційних визначень, а також цілісності, неперервності, доступності й експлуатаційної готовності системи.

Призначення та функції цих доповнень розглядаються далі.

Сегмент користувачів потенційно може складатися з необмеженої кількості супутникових навігаційних приймачів, які приймають сигнали навігаційних супутників і виконують розрахунки місцеположення, швидкості й поточного часу з похибками, зумовленими характеристиками супутникової навігаційної системи та апаратури споживача.

Якість обслуговування заявок на передачу інформації системою зв'язку залежить від ряду параметрів, до основного з яких звичайно відносять:

- об'єм інформації, що підлягає передачі (наприклад, телефонне навантаження в системах телефонного зв'язку)  $Y$ ;
- пропускну здатність мережі зв'язку  $G$ ;
- структурну надійність та живучість системи зв'язку  $H$ ;
- завадозахищеність і якість передачі інформації  $K$ ;
- алгоритм обслуговування заявок на передачу інформації  $U$ .

При цьому якість обслуговування заявок може бути оцінена у вигляді деякого узагальненого критерію

$$\pi = f(Y, G, H, K, U). \quad (1)$$

Як бачимо, узагальнений критерій якості обслуговування  $\pi$  визначається досить складною функцією, і побудова системи зв'язку, що задовольняє заданому значенню цього критерію, є досить важкою задачею.

Крім того, розглянуті параметри  $Y, G, H, K$  в процесі експлуатації системи зв'язку звичайно не постійні, і їх зміну часто неможливо заздалегідь передбачити.

У зв'язку з цим в сучасних системах зв'язку значна увага приділяється вибору такого алгоритму обслуговування, що міг би:

- врахувати виникаючі зміни в ситуації на мережі;
- забезпечити в умовах, що змінюються, збереження заданого значення узагальненого критерію якості обслуговування.

Системи управління, що реалізують такі алгоритми обслуговування заявок, називаються адаптивними.

У зв'язку з тим, що система управління мережею визначає алгоритм обслуговування заявок, виходячи з оцінки значення параметрів, що характеризують ситуацію на мережі, доцільно процеси, що виконуються системою управління мережею, розділити на два типи:

- процеси управління потоками інформації;
- процеси управління обслуговуванням кожної заявки на передачу інформації.

Процеси управління першого типу, забезпечуючи аналіз значень параметрів першого виду і визначаючи режим обслуговування  $R_i$ , оптимізують число прийнятих мережею заявок на передачу інформації і шляхи її передачі, тобто обсяг і план розподілу кожного потоку інформації, що надходить у мережу.

Процеси управління другого типу при надходженні заявки забезпечують виконання операції по її прийому мережею і передачу інформації від джерела до споживача відповідно до вибраного режиму обслуговування  $R$ .

Процеси першого типу прийнято називати процесами динамічного управління потоками інформації (викликів, повідомлень і т.п.).

Процеси другого типу прийнято називати процесами встановлення зв'язку:

- встановлення з'єднань,
- передачі повідомлень, пакетів і т.п.

Пристрої першого типу, у яких реалізуються процеси динамічного управління потоками інформації, прийнято називати пристроями динамічного управління (ПДУ),

Пристрої другого типу, у яких реалізуються процеси управління встановленням зв'язку, прийнято називати пристроями управління (ПУ).

Динамічне управління потоками на мережі в цілому здійснюється двома основними шляхами: управлінням об'ємом потоків, що передаються по мережі, і управлінням розподілом на мережі потоків (рис. 2).

Під динамічним управлінням об'ємом потоків розуміється як управління обмеженням вихідного навантаження від усіх або частини вузла комутації (ВК), так і управління об'ємом вихідного навантаження, що створюється безпосередньо абонентськими пунктами.



Рис. 2. Класифікація методів динамічного управління інформаційними потоками

Динамічне управління розподілом потоків може бути здійснене як за рахунок управління структурою некомутованої мережі шляхом зміни ємності пучків каналів або перерозподілом каналів на мережі при зміні тяжінь між окремими парами ВК, так і за рахунок управління шляхами передачі потоків без зміни структури некомутованої мережі.

Можна виділити дві групи принципів організації динамічного управління шляхами передачі потоків інформації:

- управління перерозподілом шляхів передачі потоків інформації;
- управління числом допустимих обхідних шляхів.

Перша група підрозділяється на дві підгрупи:

- управління порядком вибору допустимих обхідних шляхів, коли при зміні ситуації на мережі відбувається корекція плану розподілу інформації, але без зміни числа і складу обхідних напрямків;
- управління складом шляхів передачі потоків інформації, коли при зміні ситуації на мережі відбувається вимикання одних напрямків з обхідних шляхів і одночасне включення в них інших напрямків так, щоб загальне число обхідних шляхів не змінилося.

Використання обхідних шляхів на мережі зв'язку приводить до виникнення транзитних потоків. При відсутності перевантажень на мережі використання обходів приводить до зменшення втрат на мережі в цілому, хоча транзитні потоки збільшують втрати на окремих галузях.

Оскільки з ростом навантаження, що надходить до мережі, збільшення потоку транзитного навантаження відбувається нелінійно, то при значних за-

гально мережевих перевантаженнях і високому використанні ліній відбувається лавинне наростання транзитних потоків, і тоді обхідні шляхи стають неефективними. Принципи організації управління, що дозволяють визначити момент, коли окремі (або усі) обхідні напрямки стають неефективними і потрібно виключити їх зі списку обхідних, відносяться до груп динамічного управління числом і складом припустимих обхідних шляхів.

Цікавим є динамічне управління, яке можна віднести одночасно до декількох груп.

Таким чином, виходячи з основних задач і принципів організації, система динамічного управління потоками інформації на мережі зв'язку може бути представлена у вигляді двох основних підсистем:

- розподіленої підсистеми динамічного управління шляхами передачі потоків інформації;
- централізованої (або децентралізованої) підсистеми динамічного управління структурою некомутованої мережі та обмеженням навантаження.

Для управління структурою мережі й обмеженням навантаження в динамічній системі управління потоками повинен бути центр динамічного управління (ЦДУ), що для надійності може бути резервованим одним або декількома такими ж ЦДУ. Територіально ЦДУ сполучається з одним із ВК мережі, причому резервні ЦДУ можуть бути розташовані на інших ВК. В ЕОМ ЦДУ від ЕОМ вузлів комутації по спеціальних каналах, що утворюють мережу відображення, надходить інформація про ситуацію на мережі зв'язку (про навантаження і втрати в окремих напрямках і вузлах, число ушкоджених каналів і т.п.).

Така інформація служить вихідними даними для аналізу на ЕОМ пропускної здатності мережі зв'язку і вироблення рекомендацій про варіанти обмеження (або зняття обмежень) навантаження на різних ділянках мережі.

Крім того, в ЕОМ ЦДУ на основі цієї інформації можуть бути:

- розраховані варіанти розподілу каналів,
- отримані рекомендації про введення додаткових каналів на мережі або їх виключення тощо.

Таким чином, СДУП будується як комбінована, централізовано-розподілена система управління і являє собою, як і будь-яка система управління, сукупність адміністративних, економіко-математичних методів, засобів обчислювальної техніки й автоматики, а також засобів службового зв'язку, що дозволяють органам управління мережею зв'язку, з метою подальшого поліпшення якості обслуговування її абонентів здійснювати оптимальний розподіл ресурсів мережі зв'язку й ефективно їх використання.

Слід зазначити, що СДУП може створюватися не тільки для всієї мережі в цілому, але і для окремих її частин, зон (територій), міст тощо. У цих випадках СДУП має ієрархічну структуру з кількома рівнями управління.

Корекція матриці маршрутів в СДУП здійснюється різними методами, що одержали назву методів динамічного управління потоками інформації. Ці методи дозволяють коректувати матриці маршрутів при зміні ситуації на мережі зв'язку. Так як частота корекції може бути різною, усі методи динамічного управління потоками підрозділяють на разові і групові.

Разові методи забезпечують корекцію узагальненої стохастичної матриці маршрутів (або будь-якого її частинного варіанта – стохастичної матриці маршрутів, матриці маршрутів і т.п.) при обслуговуванні кожної заявки на передачу інформації, групові – при обслуговуванні групи заявок.

У залежності від виду інформації про ситуацію на мережі, що використовується при корекції узагальненої стохастичної матриці маршрутів, усі методи динамічного управління потоками можуть також підрозділятися на детерміновані і статистичні.

При детермінованих методах корекція узагальненої стохастичної матриці маршрутів забезпечується на основі інформації про ситуацію на мережі, що склалася в даний момент без врахування передісторії; при статистичних методах корекція виробляється на основі статистики про можливу довжину шляху, величину затримки або імовірності відмов у встановленні зв'язку по тому або іншому вихідному напрямку, отриманої в результаті обслуговування попередніх заявок протягом деякого інтервалу часу  $T$ .

Отже, разові детерміновані методи дозволяють одержувати, наприклад, черговість вибору вихідних напрямків для встановлення зв'язку тільки для однієї заявки, а групові детерміновані методи – для групи заявок стосовно до ситуації на

мережі, що склалася в даний момент без врахування попередніх ситуацій.

На відміну від них, разові статистичні методи динамічного управління потоками інформації забезпечують корекцію матриці маршрутів після обслуговування кожної заявки, а групові – після обслуговування декількох заявок на основі статистики, що характеризує виникаючі ситуації у попередні моменти інтервалу часу  $T$ .

Крім того, всі методи динамічного управління потоками інформації дозволяють коректувати узагальнену стохастичну матрицю маршрутів з урахуванням можливої зміни ситуації на мережі зв'язку і з урахуванням даного встановлення зв'язку на найближчий період часу.

Такі методи називаються методами з прогнозуванням.

Вони можуть бути детермінованими і статистичними, разовими або груповими. Ті методи, що не дозволяють прогнозувати ситуацію на мережі в результаті встановлення одного або групи зв'язків, є методами без прогнозування.

Методи динамічного управління інформаційними потоками можуть розрізнятися і за принципом вибору шляху встановлення зв'язку.

За цією ознакою вони поділяються на методи, що забезпечують вибір шляху встановлення зв'язку від вихідного ВК до вхідного ВК, і методи, що забезпечують вибір шляху по частинам, тобто на вихідному і на всіх транзитних ВК незалежно, керуючись лише однією узагальненою стохастичною матрицею маршрутів або яким-небудь її частинним різновидом.

Ефективність застосування на мережі тих або інших методів динамічного управління потоками інформації залежить від ряду причин, і в основному від методу комутації, розмірів мережі зв'язку й особливостей побудови її структури, надійності елементів мережі і характеру протікання процесу.

## Висновки

У зв'язку із визначеною актуальністю застосування методів динамічного управління інформаційними потоками для підвищення якості функціонування мереж станцій функціональних доповнень GNSS систем можливо зробити наступні висновки з теоретичного обґрунтування, розробки і розвитку методів динамічного управління інформаційними потоками для вдосконалення телекомунікаційного забезпечення супутникових радіонавігаційних систем:

1. В результаті аналізу тенденцій та можливих шляхів підвищення ефективності застосування перспективних систем супутникової радіонавігації та їх функціональних доповнень у світі в цілому і в Україні зокрема, визначено, що існує необхідність підвищення якості функціонування телекомунікаційного забезпечення мереж референтних станцій та мереж контрольно-коригуючих станцій функціональних доповнень GNSS систем з метою підвищення якості вирішення навігаційних задач в різних галузях господарства.

2. Проведені дослідження існуючих методів динамічного управління інформаційними потоками в телекомунікаційних мережах об'єднують перспективи їх застосування для підвищення ефективності роботи телекомунікаційних мереж супутникових радіонавігаційних систем.

3. Сформовані основні напрямки досліджень і розвитку методів динамічного управління інформаційними потоками:

метод динамічного управління чергами заявок в умовах швидкої зміни пріоритетів на обслуговування; застосування методу послідовних наближень для знаходження оптимального розподілу потоків інформації в мережі наземних станцій космічного функціонального доповнення супутникових радіонавігаційних систем;

вдосконалення методу оцінки ефективності динамічного управління потоками.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Межгосударственная радионавигационная программа государств-участников Содружества Независимых Государств на 2001-2005 годы (Концепция развития радионавигационных систем). [Электронный ресурс]. – Режим доступа до док.: <http://www.mte.ru/www/navig.nsf>.
2. Концепция гармонизации национальных систем организации воздушного движения государств — участников Содружества Независимых Государств [Текст], 2003.
3. Концепція створення та експлуатації системи координатно-часового і навігаційного забезпечення України з застосуванням глобальних навігаційних супутникових систем на період 2006-2011 рр. – Національне космічне агентство України, 2006. – 31 с.
4. Дорогобід В. П., Козелков С. В., Луцьо В. В. Використання системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України для підвищення точності визначення місцеположення рухомих об'єктів / В. П. Дорогобід, С. В. Козелков, В. В. Луцьо // Системи управління, навігації та зв'язку: Збірник наук. праць. – Полтава: ПНТУ, 2015. – Вип. 4 (36) – С.84-89
5. Евстафьев О. В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования / О. В. Евстафьев // Геопрофи. – 2008. – № 1. – С. 21–24.
6. Евстафьев О. В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования // Геопрофи. – 2008. – № 2. – С. 24–28.
7. Евстафьев О. В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования // Геопрофи. – 2008. – № 3. – С. 15–18.
8. Евстафьев О. В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования // Геопрофи. – 2008. – № 5. – С. 43–48.
9. Евстафьев О. В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования // Геопрофи. – 2008. – № 6. – С. 19–23.
10. Евстафьев О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования // Геопрофи. – 2008, № 1–2.
11. Козелков С. В., Кочерук С. М. Напряжки розвитку радіонавігаційного забезпечення України/ С.В. Козелков, С.М. Кочерук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС. – 2009. – Вип. 3(21). – С. 86-90.

Received (Надійшла) 11.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.05.2021

### Selection and justification of the method of information flow management of measuring systems for improvement of functional supplements of supplements

Oleksandr Shulga, Valeriia Sokirina

**Abstract.** Analytical data on the requirements of air, sea, land, river, space consumers, rescue services to determine the location of objects show that the requirements significantly depend on the tasks to be solved by different groups of consumers. In this case, the generalized requirements include the requirements for the working areas of radio navigation systems (RNS), the accuracy of determining the spatio-temporal coordinates (UPC) - standard error, availability (probability of maintenance) and integrity (probability of error and / or time period during which the violation). Requirements for providing subscribers with frequency-time coordinates (for example, for telecommunication systems), the requirements for ensuring accurate characteristics have not yet been fully generalized. At the same time, practical experience shows the urgent need to obtain information about the exact time, as well as in the frequency standards of high stability. This is directly related to the synchronization of synchronous high-speed information transmission lines based on the principles of synchronous digital hierarchy (SDH), and those that use clock network synchronization (TMS) - to the synchronization of base stations of mobile dynamic communication systems and so on. The purpose of the article is to consider and analyze the application of the Radio Navigation Plan of Ukraine (RPU), which covers the use of RNS and means of civil and dual use, managed by different agencies. In addition, it is determined that the ACU does not include radio systems that perform survey functions or functions of telecommunication systems. It is stated that it does not include automatic identification systems (ASI) or gas station systems (automatic dependent monitoring), but covers the navigation aids on which the described systems are based. At the stage of formation and development of the ACU, an analysis of the current state and development of all RNS (existing and those that will be used in the future), as well as the compliance of their capabilities to the requirements of different categories of consumers. It was found that in order to meet the requirements of location accuracy among radio navigation systems, the UPC should have a value of less than 10 m, which now corresponds only to satellite radio navigation systems (SRNS).

**Keywords:** satellite radio navigation system, navigation satellites, space segment, ground control segment, constellations of navigation satellites, differential mode of satellite navigation, systems of functional addition, satellite addition.

І. П. Мажара, О. І. Тимочко

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

## НЕЧІТКА НЕЙРОННА МЕРЕЖНА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

**Анотація.** Розроблено нечітка нейронна мережна модель інформаційної системи управління повітряним рухом. При побудові нечіткої нейронної мережної моделі процесу управління повітряним рухом необхідно досліджувати надійність роботи кожної особи групи керівництва польотами по формуванню потоків літаків в своїй зоні відповідальності в тому числі з урахуванням виникнення нештатних ситуацій в повітрі і на землі. В цьому випадку для побудови моделі необхідні засоби обробки, формалізації нечіткої інформації. **Висновки.** Отже, для побудова даної моделі вимагає застосування формального апарату нечіткої алгебри, нечіткої логіки, теорії нечіткої ідентифікації, тобто методів побудови нечітких моделей за результатами спостережень. Отримала подальший розвиток інформаційна модель управління повітряним рухом, яка, на відміну від відомих, являє собою ієрархічну нейронну мережу з нечітким описом впливає на процес управління повітряним рухом факторів. Інформаційна модель дозволяє підвищити безпеку польотів.

**Ключові слова:** нечітка множина, лінгвістична змінна, формування потоку літаків, правила нечітких продукцій, управління повітряним рухом.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Науково-технічний прогрес і пов'язана з ним автоматизація процесів управління істотно змінюють характер і умови праці осіб групи керівництва польотами (ГКрП) і по новому ставлять проблему врахування людського фактору при організації взаємодії людини і техніки в системі управління повітряним рухом (УПР) [1-3].

Впровадження нових способів діяльності з УПР, підвищення вимог до оперативності та якості вирішення завдань управління обумовлюють необхідність критичного аналізу відомих моделей (еталонів) діяльності і визначення напрямків їх вдосконалення на етапах розробки, дослідження і застосування для інформаційного забезпечення роботи і навчання осіб ГКрП [4-8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** [9-14] показав, що на сучасному етапі не в повній мірі враховано вплив людського фактору на організацію взаємодії між особами які здійснюють безпосереднє управління екіпажами повітряних суден в складі групи керівництва польотами та засобами автоматизації. Даний факт тягне за собою необхідність вдосконалення існуючих методів оцінки діяльності авіаційних фахівців, шляхом більш повного врахування всіх факторів (включаючи людський), що впливають на функціонування осіб ГКрП.

**Мета статті:** визначення факторів які впливають на формування потоків літаків для заходу на посадку; розроблення нечіткої нейронної мережної моделі інформаційної системи управління повітряним рухом.

### Виклад основного матеріалу

При побудові нечіткої нейронної мережної моделі процесу УПР необхідно досліджувати надійність роботи кожної особи ГКрП по формуванню потоків

літаків в своїй зоні відповідальності в т. ч. з урахуванням виникнення нештатних ситуацій в повітрі і на землі. Майже на кожному етапі польоту присутні фактори, що відносяться до категорії нечітких. Тобто ці відомості є або неповними, або неясними або неточними за своєю природою: повітряна обстановка, фактична або прогнозована погода, орнітологічна обстановка, технічний стан транспортних засобів, дотримання планової таблиці, і т.п. Факторами, що впливають на процес УПР, або елементи його структури, є люди, які функціонують з урахуванням своїх особистих інтересів, цілей і характеру. В цьому випадку для побудови моделі необхідні засоби обробки, формалізації нечіткої інформації. Отже, для побудова даної моделі вимагає застосування формального апарату нечіткої алгебри, нечіткої логіки, теорії нечіткої ідентифікації, тобто методів побудови нечітких моделей за результатами спостережень [15-25].

З огляду на виявлені нечіткі і чіткі фактори, сформовані на підставі суджень і досвіду експертів, перший рівень ієрархічної нечіткої нейронної мережної моделі інформаційної системи управління процесом повітряного руху можна представити у вигляді з шести модулів (рис. 1). Кожен модуль в тій чи іншій мірі бере участь в реалізації відповідних блоків з схем формування потоків літаків (ФПЛ). Сьомий модуль моделі призначений для акумуляції результатів роботи попередніх модулів. Вхідними даними для цього модуля є виходи 1 – 6 модулів. У кожному модулі виділяється певна кількість факторів, що впливають на ефективність як окремого процес-блоку, так і всього процесу УПР в зоні візуального контролю в цілому (рис. 1).

Відповідно до схеми можна математично описати модель УПР в зоні візуального контролю. Шість модулів описують стан окремого процесу однієї з чотирьох схем формування потоків літаків (ФПЛ):

- “Запуск”,  $y_1 = O(x_j)$ , де  $j = 1, 2$ ;
- “Руління”,  $y_2 = M(x_j)$ , де  $j = 3, 4, 5$ ;
- “Попередній сарт”,  $y_3 = P(x_j)$ , де  $j = 6, 7, 8, 9$ ;
- “Зліг”,  $y_4 = A(x_j)$ , де  $j = 10, 11, 12, 13, 14$ ;
- “Посадка”,  $y_5 = S(x_j)$ , де  $j = 15, 16, 17, 18, 19$ ;
- “Пробіг”,  $y_6 = Z(x_j)$ , де  $j = 20, 21, 22$ .

де  $x_j$  – вхідні змінні кожного нечіткого нейронного мережного модуля, якими є різні чинники – це якісні характеристики окремого блок-процесу;  $y_k$  – вихід кожного з цих чотирьох модулів – оцінка ефективності k-го блок-процесу, де  $k = 1, 2, \dots, 6$  – відповідний номер модуля.

$$y_{pr} = F(y_k) = F(O(x_j), M(x_j), P(x_j), A(x_j), S(x_j), Z(x_j)). \quad (1)$$

Оцінка ефективності управління повітряним рухом  $y_{pr}$  залежить від стану всіх факторів, що впливають.

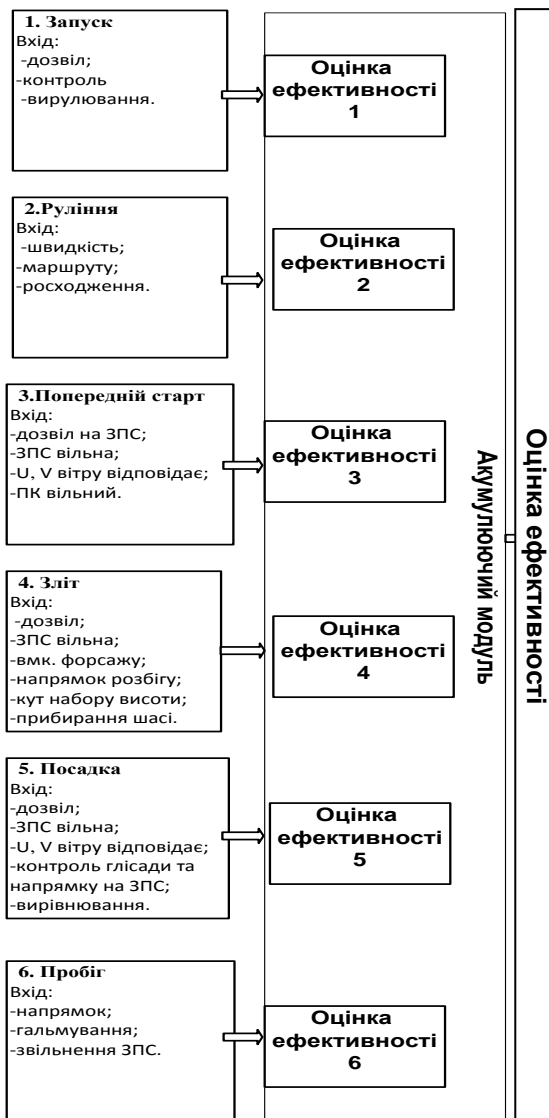


Рис. 1. Нечітка нейронна мережна модель інформаційної системи управління повітряним рухом

Для опису елементів нечіткої нейронної системи в процесі побудови моделі використовуються поняття нечіткої множини, лінгвістичної змінної і виконується побудова функції належності нечітких множин.

Вихідна змінна одна в кожному з шести модулів – це лінгвістичні змінні оцінка ефективності 1, оцінка ефективності 2, ..., оцінка ефективності 6, відповідно. Ці змінні, в свою чергу, є вхідними для акумулюючого модуля. На його виході формується лінгвістична змінна – оцінка ефективності.

Кожній лінгвістичній змінній відповідає п'ять термів: погано; нижче середнього; середньо; добре; відмінно (або операція відсутня). Нечітке числове обмеження термів – відрізок від 0 до 10. Так, лінгвістична змінна погано буде обмежена числовою оцінкою від 0 до приблизно 2, а лінгвістична змінна нижче середнього – від приблизно 2 до приблизно 4, і т.д. Коли в схемі ФПЛ будь-який процес відсутній, вихідний лінгвістичної змінної оцінка ефективності відсутнього модуля  $i$  ( $i = 1, \dots, 6$ ) відповідає терм відмінно, рівний максимальному значенню 10.

З огляду на, те що в рамках нечіткої зони кожного терму закон зміни кожної змінної явно нелінійний, форма функцій приналежності була обрана гаусом і сигмоїдної форми (рис. 2). Для побудови навчальних вибірок використовуються експертні оцінки фахівців. При складанні правила нечітких продукцій (ПНП) також враховуються в експертних оцінках, взаємозв'язок і значимість чинників відносно один одного в кожному процес-блоці.

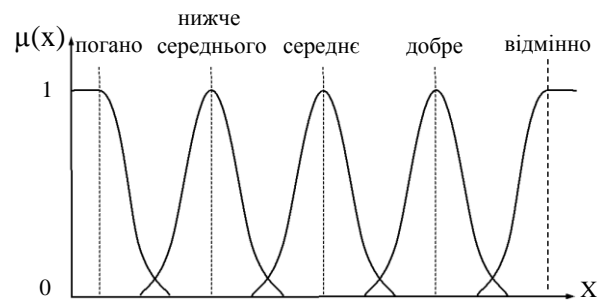


Рис. 2. Функції приналежності нечітких множин, що відповідають термам лінгвістичних змінних п'яти модулів нечіткої нейронної мережної моделі управління повітряним рухом

На виході кожного модуля визначається ефективність конкретного процесу. Він залежить не тільки від швидкості самого процесу, а й від якості УПР в певному модулі (наприклад, чи були порушені інтервали горизонтального і вертикального ешелонування), які впливають в кінцевому підсумку на безпеку і регулярність повітряного руху. Ці залежності здебільшого не очевидні, складні, невідомі. У процесі навчання з використанням нечіткої нейронної мережі коригуються спочатку задані пріоритети, визначаються параметри функції приналежності, згладжуються можливі розбіжності експертів ваговими коефіцієнтами (рис. 3). База знань цієї мережі будується в вигляді сукупності правил нечітких продукцій і вхідних лінгвістичних змінних  $x$  (відповідні фактори, що впливають на процес управління повітряним рухом).

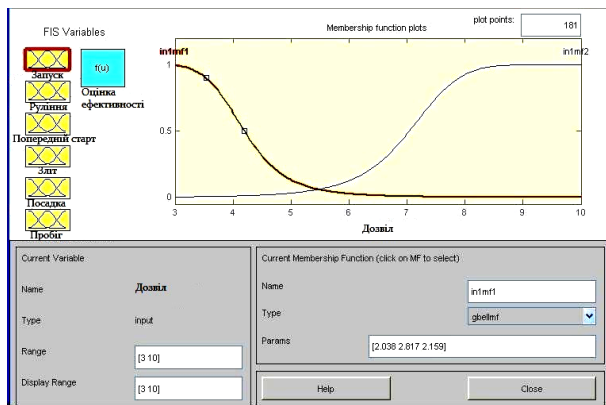


Рис. 3. Графік налаштування параметрів функції належності за допомогою графічних засобів системи MATLAB

1. ПНП першого модуля:

$$\Pi_i^S : \text{якщо } x_{1i} = O_{1i}^S, x_{2i} = O_{2i}^S, \text{ то } y_{1i}^S, \quad (2)$$

де  $i = 1, \dots, 25$  ( $25 = 52$  – дві лінгвістичні змінні, кожній з яких відповідає п'ять термів).

2. ПНП другого модуля:

$$\Pi_j^S : \text{якщо } x_{3j} = M_{1j}^S, x_{4j} = M_{2j}^S, x_{5j} = M_{3j}^S, \text{ то } y_{2j}^S, \quad (3)$$

де  $j = 1, \dots, 125$  ( $125 = 53$  – три лінгвістичні змінні, кожній з яких відповідає п'ять термів).

3. ПНП третього модуля:

$$\Pi_k^S : \text{якщо } x_{6k} = P_{1k}^S, x_{7k} = P_{2k}^S, x_{8k} = P_{3k}^S, \quad (4)$$

$$x_{9k} = P_{4k}^S, \text{ то } y_{3k}^S,$$

де  $k = 1, \dots, 625$  ( $625 = 54$  – чотири лінгвістичні змінні, кожній з яких відповідає п'ять термів)

4. ПНП четвертого модуля:

$$\Pi_l^S : \text{якщо } x_{10l} = A_{1l}^S, x_{11l} = A_{2l}^S, x_{12l} = A_{3l}^S, \quad (5)$$

$$x_{13l} = A_{4l}^S, x_{14l} = A_{5l}^S, \text{ то } y_{4l}^S,$$

де  $l = 1, \dots, 3125$  ( $3125 = 55$  – п'ять лінгвістичних змінних, кожній з яких відповідає п'ять термів).

5. ПНП п'ятого модуля:

$$\Pi_m^S : \text{якщо } x_{15m} = S_{1m}^S, x_{16m} = S_{2m}^S, x_{17m} = S_{3m}^S, \quad (6)$$

$$x_{18m} = S_{4m}^S, x_{19m} = S_{5m}^S, \text{ то } y_{5m}^S,$$

де  $m = 1, \dots, 3125$  ( $3125 = 55$  – п'ять лінгвістичних змінних, кожній з яких відповідає п'ять термів).

6. ПНП шостого модуля:

$$\Pi_n^S : \text{якщо } x_{20n} = Z_{1n}^S, x_{21n} = Z_{2n}^S, x_{22n} = Z_{3n}^S, \text{ то } y_{6n}^S, \quad (7)$$

де  $j = 1, \dots, 125$  ( $125 = 53$  – три лінгвістичні змінні, кожній з яких відповідає п'ять термів).

7. ПНП сьомого акумулюючого модуля:

$$\Pi_t^S : \text{якщо } y_{1t}^S = Y_{1t}^S, y_{2t}^S = Y_{2t}^S, y_{3t}^S = Y_{3t}^S, \quad (8)$$

$$y_{4t}^S = Y_{4t}^S, y_{5t}^S = Y_{5t}^S, y_{6t}^S = Y_{6t}^S, \text{ то } y_t^S,$$

де  $t = 1, \dots, 15625$  ( $15625 = 56$  – шість лінгвістичних змінних, кожній з яких відповідає п'ять термів);  $s = 1, \dots, 4$  – це номери чотирьох способів ФПЛ.

Умови ПНП IF ..., THEN ... (якщо ..., то ...) реалізуються функціями належності  $\mu(x_i)$  (фазифікація) сигмоїдної і гаусової форми. Тоді база правил нечітких продукцій, складена на основі експертних оцінок, складається з 313 правил.

### Висновки

Таким чином, в роботі були визначені фактори які впливають на формування потоків літаків для заходу на посадку. Формалізований досвід експертів дозволив побудувати нечітку нейронну мережу модель інформаційної системи управління повітряним рухом. Модель включає шість модулів, що реалізують відповідно одну з схем ФПЛ за допомогою нечіткої нейронної мережі. Сьомий модуль моделі призначений для попередніх модулів.

Отримала подальший розвиток інформаційна модель управління повітряним рухом, яка, на відміну від відомих, являє собою ієрархічну нейронну мережу з нечітким описом впливає на процес управління повітряним рухом факторів. Інформаційна модель дозволяє підвищити безпеку польотів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Павленко М. А. Залежність функціональних станів оператора від комплексу зовнішніх та внутрішніх факторів при роботі з АСУ / М. А. Павленко, О. А. Черток, Є. А. Толкаченко, В. П. Ясинецький // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4. – С. 111-114.
2. Анализ методов моделирования деятельности оператора в системе "человек-машина" / О. В. Сергунова, М. А. Павленко, А. И. Тимочко, Е. В. Воробьев // Системы обработки информации. – Х.: ХУПС, 2015. – № 7. – С. 80-82.
3. Контроль факторов угрозы и ошибок при управлении воздушным движением / Сиг. ICAO 314 – AN / 178. – Канада, Монреаль : ICAO – ISBN 978-92-9231-266-4, 2008. – 34 с.
4. Гришманов Е. А. Методы интенсификации процессов формирования навыков распознавания и устранения потенциально-конфликтных ситуаций персоналом ОВД / Е. А. Гришманов, Ю. В. Чинченко, И. Е. Буланов // Наукові праці академії, вип. III, част. II. – Кіровоград : ДЛАУ, 1998. – С. 16-21.
5. Онипченко П. Н. Управление воздушным движением и перспективные направления его совершенствования / П. Н. Онипченко, М. А. Павленко, А. И. Тимочко // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 2. – С. 38-41.
6. Чинченко Ю. В. Подходы к автоматизации контроля уровня готовности авиадиспетчеров к действиям в кризисных ситуациях / Ю. В. Чинченко // Искусственный интеллект. – Донецк: Наука і освіта, 2003. – № 4. – С. 378-383.
7. Чинченко Ю. В. Автоматизация управления уровнем готовности авиадиспетчеров к действиям в кризисных ситуациях / Ю. В. Чинченко // Тез. докл. Межд. НПК «Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем». – Кіровоград: ГЛАУ, 2003. – С. 67-68.
8. Дем'янчук В. С. Безпека польотів та організація повітряного руху Київ : ДП ОПР України, 2009. 424 с.



9. Бердник П. Г. Математические основы эргономических исследований / П. Г. Бердник, Г. А. Кучук, Н. Г. Кучук, Д. Н. Обидин, М. А. Павленко, А. В. Петров, В. Н. Руденко, А. И. Тимочко // Кропивницький : КІА НАУ, 2016. 248 с.
10. Чинченко Ю. В. Автоматизация управления уровнем готовности авиадиспетчеров к действиям в кризисных ситуациях / Ю. В. Чинченко // Тез. док. МНПК «Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем». Кировоград: ГЛАУ, 2003. С. 67-68.
11. Неделько В.Н. Концепция информационной поддержки оператора в автоматизированных системах обслуживания воздушного движения / В.Н. Неделько // Аерокосмічні системи моніторингу та керування: Секція «Аерокосмічні та наземні системи керування транспортом»: Мат-ли IV МНТК «АВІА-2002». – Т. 2. – К.: НАУ, 2002. – С. 21.13-21.16.
12. Неделько С.Н. Структурно-динамический подход к представлению решений в интеллектуальных автоматизированных системах обслуживания воздушного движения / С.Н. Неделько, В.Н. Неделько, Е.А. Дубровский // Проблемы аэронавигации. – Кировоград: ДЛАУ, 1998. – Вып. III, ч. II. – С. 5-12.
13. Неділько В.М. Пертинентний підхід до підтримки прийняття рішень при керуванні об'єктами, що можуть бути небезпечними / В.Н. Неделько // Комп'ютерна математика. Оптимізація обчислень: Зб. наук. праць. НАН України. Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова, Наукова рада НАН України з пробл. «Кібернетика». – К.: 2001. – Т. 2. – С. 292-300.
14. Неделько В.Н. Прогнозирование информационных потребностей операторов особо сложных систем управления / В.Н. Неделько // Искусственный интеллект. – 2002. – № 3. – С. 420-427.
15. Павленко М. А. Основи теорії систем та системного аналізу / М. А. Павленко, О. В. Петров, С. І. Хмелевський // Харків : ХНУПС, 2018. 215 с.
16. Герасимов Б.М. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта / Б.М. Герасимов, В.А. Тарасов, И.В. Токарев // – К.: Наук. думка, 1993. – 184 с.
17. Герасимов Б.М. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации / Б.М. Герасимов, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмшин // – К.: Техніка, 2002. – 140 с.
18. Архангельский В.И. Нейронные сети в системах автоматизации / В.И. Архангельский, И.Н. Богаенко, Г.Г. Грабовский, Н.А. Рюмшин // – К.: Техніка, 1999. – 364 с.
19. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей : Примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров // – Рига : Зинатне, 1990. – 184 с.
20. 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>.
21. 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>
22. Nechausov A., Mamusuć 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>
23. Артеменко О.В. Построение нейросетевой модели анализа возможности выполнения полета / О.В. Артеменко, Т.Ф. Шмельова, А.С. Тимошенко // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління». – 2012.– Вип. 1 (21). – Т. 2. – С. 68–74.
24. Павленко М.А. Використання середовища Matlab для моделювання діяльності оператора АСУ / М.А. Павленко, В.М. Руденко, С.В. Сериченко, С.І. Сімонов // Системи озброєння та військової техніки. Науковий журнал. – 2009. – № 3 (19). – С. 79-83
25. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с.

Received (Надійшла) 21.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.04.2021

### Fuzzy neural network model of air traffic control information system

I. Mazhara, O. Tymochko

**Abstract.** A fuzzy neural network model of the air traffic control information system has been developed. When constructing a fuzzy neural network model of the air traffic control process, it is necessary to study the reliability of each flight crew member's work on the formation of aircraft flows in their area of responsibility, including the occurrence of abnormal situations in the air and on the ground. In this case, the construction of the model requires means of processing, formalization of fuzzy information. Thus, the construction of this model requires the use of a formal apparatus of fuzzy algebra, fuzzy logic, fuzzy identification theory, that is, methods for constructing fuzzy models based on the results of observations. To describe the elements of the fuzzy neural system in the process of building the model, the concepts of fuzzy set, linguistic variable are used and the construction of the membership function of fuzzy sets is performed. Given that within the fuzzy zone of each term the law of change of each variable is clearly nonlinear, the form of membership functions was chosen by Gaussian and sigmoid form. Expert assessments of specialists are used to build training samples. When drawing up the rules of fuzzy products are also taken into account in expert assessments, the relationship and significance of factors relative to each other in each block. The output of each module determines the efficiency of a particular process. It depends not only on the speed of the process itself, but also on the quality of air traffic control in a particular module (for example, whether the intervals of horizontal and vertical separation have been violated), which ultimately affect the safety and regularity of air traffic. Thus, the formalized experience of experts allowed to build a fuzzy neural network model of air traffic control information system. The model includes six modules that implement, respectively, one of the schemes for the formation of aircraft flows using a fuzzy neural network. The seventh module of the model is intended for previous modules. The information model of air traffic control has been further developed, which, unlike the known ones, is a hierarchical neural network with a vague description of the factors influencing the air traffic control process. The information model allows to increase flight safety.

**Keywords:** fuzzy set, linguistic variable, aircraft flow formation, fuzzy product rules, air traffic control.



В. І. Масягін<sup>1</sup>, М. Б. Сушак<sup>2</sup>, В. В. Бездельний<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

<sup>2</sup> Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ, Україна

## ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРОЦЕСУ ГАРАНТІЙНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗРАЗКІВ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ, ЯКІ ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ ЗА МЕЖАМИ ПОПЕРЕДНЬО ВСТАНОВЛЕНИХ РЕСУРСНИХ ПОКАЗНИКІВ

**Анотація.** Представлено аналіз математичної моделі, яку можливо брати за основу при формуванні методик визначення показників надійності зразків авіаційної техніки, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників. Моделювання процесу визначення ймовірнісних властивостей гарантійного обслуговування зразків авіаційної техніки, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників дозволяє теоретично визначити основні кількісні показники надійності цих зразків після ремонту.

**Ключові слова:** математична модель, показник надійності, авіаційна техніка, ймовірнісні властивості, ресурсний показник.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Аналіз стану парку авіаційної техніки Повітряних Сил Збройних Сил України показує, що експлуатація значної її кількості здійснюється за межами попередньо встановлених ресурсних показників, що, зазвичай, призводить до ситуації, коли під час дослідження відмови виробу з'ясовується, що відмова, яка виникла в процесі гарантійного обслуговування зразків авіаційної техніки (АТ), не пов'язана з проведенням ремонту на авіаремонтних підприємствах (АРП), а є наслідком конструктивних недоліків та/або тривалого терміну експлуатації, який значно перевищує ресурсні показники, що встановлені розробником. Як наслідок, у цих обставинах підприємство несе незаплановані фінансові витрати на відновлення гарантійного виробу в цілому, в тому числі на відновлення вузлів та деталей виробу, які під час ремонту не замінялись на нові та окремо не ремонтувались, адже відповідно до вимог існуючої ремонтної документації це не передбачено.

Виникає ситуація, коли, у випадку знання з АРП зобов'язань відновлення справності агрегатів (блоків, виробів), якими був укомплектований основний виріб після ремонту (не взяття підприємством гарантійних зобов'язань на виріб у цілому), питання відновлення справності автоматично перекладається на замовника робіт, який змушений повторно нести додаткові витрати та вважати їх необґрунтованими.

Вирішення вищезазначеного проблемного питання полягає у визначенні об'єктивних властивостей процесу гарантійного обслуговування зразків АТ державної авіації України, що експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників, та відповідного нормативно-правового врегулювання. Це дозволить усунути невідповідність між існуючими потребами забезпечення заданого рівня справності парку АТ ПС ЗС України та реальними (об'єктивними) можливостями АРП щодо гарантійного обслуговування зразків АТ, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників.

Аналіз проблем забезпечення заданого рівня справності парку авіаційної техніки Повітряних Сил

Збройних Сил України (ПС ЗС України) в міжремонтний період експлуатації показав, що на озброєнні ПС ЗС України перебуває військова АТ іноземної розробки та виробництва (окрім літаків типу Антонов), яка позбавлена авторського нагляду в процесі експлуатації. Технічний стан всього парку авіації ПС ЗС України характеризується вичерпанням встановлених показників (установлених строку служби та ресурсу), її складових частин та комплектувальних виробів. Відновлення справного стану АТ згідно з діючим методом експлуатації «за ресурсом» можливо виключно виконанням її капітальних ремонтів.

На певних етапах життєвого циклу експлуатації повітряного судна можливо забезпечувати підтримку характеристик його безвідмовності, ремонтпридатності, довговічності та збереженості. Для етапів експлуатації та ремонту АТ на сьогоднішній день актуальним питанням є розробка програми забезпечення надійності, в якій має бути встановлено комплекс взаємообумовлених організаційно-технічних вимог та заходів, що спрямовані на забезпечення заданих вимог до надійності при імпортозаміщенні [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Закони розподілу відмов, які виникають на зразках АТ ПС ЗС України в післяремонтний період, є випадковими величинами, мають велике значення для теорії і практики робіт щодо забезпечення надійності виробів. Знання цих законів дозволяє розраховувати та прогнозувати надійність виробів на етапах їх гарантійного обслуговування. Особливо велике значення закони мають при оцінці обґрунтованості встановлення та продовження ресурсу виробів АТ до граничного рівня, адже від цього залежить безпека польотів ЛА.

З великого різноманіття законів розподілу випадкових величин, які розроблені в теорії ймовірностей, найбільше значення для надійності мають такі закони: біноміальний та Пуассона – для дискретних величин; експоненційний, Вейбулла та нормальний – для безперервних величин. Крім того, інколи використовується закон «гамма – розподілу» та інші. Для складних (багатофункціональних) розподілів використовуються композиції вказаних законів розподілу та скорочені закони розподілу.

Використання того чи іншого закону обумовлено характеристиками прояву та змін відмов виробів АТ у часі. Для більшості механічних, гідравлічних та електричних пристроїв (механізмів, блоків) практично неможливо виділити тільки раптові або тільки поступові відмови. Зустрічаються різноманітні поєднання обох типів відмов стосовно кожного конкретного виробу, шляхом аналізу статистичних даних доводиться оцінювати їх відповідність теоретичному закону розподілу відмов. При цьому необхідно зазначити, що використання для авіаційних виробів експоненційного закону розподілу, який характеризує раптові відмови, потребує спеціального обґрунтування та може бути допущено для порівняно коротких проміжків часу експлуатації зразків АТ в міжремонтний період.

**Мета статті** – визначення ймовірних властивостей процесу гарантійного обслуговування зразків авіаційної техніки, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників.

### Виклад основного матеріалу

В даній статті пропонуються для розгляду математичні моделі, які можливо брати за основу при формуванні методик визначення показників надійності зразків АТ, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників. Розглянемо стисло їх основну сутність окремо:

#### 1. Біноміальний розподіл.

Біноміальний розподіл використовується для дослідження дискретних випадкових величин (наприклад, числа відмов  $m$ ). Цей розподіл може бути отримано, якщо в якості випадкової величини взято число відмов, які виникають в процесі експлуатації однотипних зразків АТ після ремонту в однакових умовах. Якщо  $q$  – ймовірність появи відмови в кожному з вильотів ( $q = const$ );  $n$  – число вильотів;  $m$  – можливе число відмов при  $n$  польотів ( $m$  може бути цілим числом від 0 до  $n$ ), то ймовірність можливих значень випадкової величини  $X$ , яка розглядається, визначається за формулою Бернуллі:

$$P(x = m) = C_n^m q^m (1-q)^{n-m}, \quad (1)$$

де  $m=0, 1, 2, \dots, n$ ;  $C_n^m$  – число всіх можливих варіантів, які можливо розглянути з  $n$  польотів, в кожному з яких виникає  $m$  відмов.

Розподіл дискретної випадкової величини, що визначається даною формулою, називається біноміальним розподілом. В якості прикладу практичного використання біноміального розподілу пропонується визначення кількості відмов неремонтуємих виробів АТ протягом заданого часу (часу гарантійного обслуговування після ремонту основного виробу) в процесі їх експлуатації. При надто малих значеннях  $q$  біноміальний розподіл може бути замінено розподілом Пуассона, а при великих значеннях  $nq$ , тобто при  $nq > 20$ , – нормальним розподілом.

#### 2. Розподіл Пуассона.

Розподіл Пуассона (закон рідкісних явищ) розповсюджується, як і біноміальний розподіл, на ті

випадки, коли випадкова величина приймає цілі та позитивні значення. Фізична сутність розподілу Пуассона така ж сама, як і біноміального розподілу, тобто він визначає ймовірність появи в малих вибірках різних значень випадкової величини кількості відмов –  $m$ . Ця ймовірність визначається як:

$$P_{mn} = \frac{1}{m!} a^m e^{-a}, \quad (2)$$

де  $a = qn$ ;  $n$  – число виробів одного типу (кількість виробів АТ у вибірці), що досліджуються;  $q$  – ймовірність появи відмови протягом незначного часу експлуатації після ремонту.

Розподіл Пуассона можливо використовувати наступним чином: по-перше, як заміник біноміального розподілу в тих випадках, коли діє біноміальний закон, але ймовірність  $q \leq 0,1$ ; по-друге, при виконанні ряду розрахунків щодо надійності та при післяремонтній експлуатації виробів АТ, які ремонтуються, при сталих режимах роботи випадкове число відмов розподілене за законом Пуассона (в цьому випадку можливість використання закону Пуассона не залежить від ймовірності  $q$ ).

Числова рівність математичного сподівання та дисперсії зазвичай використовується на практиці для вирішення питань та обґрунтування правильності припущень про наявність пуассонівського розподілу випадкових величин, які розглядаються [2].

Для цього з досвіду визначаються статистичні характеристики  $M_x$  та  $D_x$ , та якщо їх значення близькі, то це підтверджує правильність припущення щодо наявності розподілу Пуассона.

Розподіл Пуассона при  $m=0$  трансформується в експоненційний розподіл.

#### 3. Експоненційний розподіл.

Експоненційний закон – це один із основних законів розподілу тривалості строку (ресурсу) служби виробів АТ. Принаймні, за цим законом розподіляється час напрацювання до відмови деяких неремонтуємих виробів АТ при їх роботі на сталих режимах (для раптових відмов, які не пов'язані з процесом зношення або старіння). В якості основного параметра експоненційного розподілу береться  $\lambda(t)$ , який характеризує інтенсивність відмов для неремонтуємих та параметр потоку відмов – для ремонтуємих виробів АТ. Для неремонтуємих виробів  $\lambda(t)$  показує, яка частка працюючих в момент часу виробів АТ виходить з ладу в одиницю часу після моменту  $t$  (в період гарантійного обслуговування). Приймаючи в якості випадкової змінної величини час  $t$  (наробіток до відмови або між відмовами) та вважаючи  $\lambda = const$ , можливо виразити щільність розподілу тривалості строку служби (наробітку) наступною формулою:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (3)$$

де  $\lambda = const$ .

Функція експоненційного розподілу визначається з рівняння:

$$F(t) = \int_0^{t_i} f(t)dt = \int_0^{t_i} \lambda e^{-\lambda t} = 1 - e^{-\lambda t_i}, \quad (4)$$

Так як  $F(t) = 1 - P(t)$ , то основне рівняння надійності буде таким

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (5)$$

а використавши співвідношення  $\lambda(t) = f(t)/P(t)$ , можна вивести залежність ймовірностей безвідмовної роботи  $P(t)$  для будь-якого закону зміни  $\lambda(t)$  від часу:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}, \quad (6)$$

Для випадку  $\lambda(t) = const$  отримаємо формулу для експоненційного закону  $P = e^{-\lambda t}$ .

На практиці часто буває так, що експоненційний закон не має місця ( $\lambda(t) \neq const$ ), але і в цьому випадку його можливо використовувати для обмежених відрізків часу. Це припущення обґрунтовується тим, що, при обмеженому періоді часу змінну інтенсивність відмов без великої похибки можна замінити середнім значенням  $\lambda_{cp}$ , тобто  $\lambda(t) \sim \lambda_{cp}(t)$ .

Визначаючись із математичною моделлю визначення ймовірнісних властивостей процесу гарантійного обслуговування зразків АТ, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників, слід мати на увазі, що експоненційний закон доцільно використовувати тільки стосовно виробів АТ, які не підлягають старінню або зношенню під час роботи, або у яких цей процес проходить дуже повільно. Цей закон, в основному, використовується для розподілу раптових відмов, які випадковим чином виникають при експлуатації АТ в міжремонтний період. Він розповсюджується тільки на позитивні безперервні випадкові величини.

Слід також враховувати, що експоненційний розподіл це єдиний розподіл випадкових величин, де використовується припущення, що, якщо пристрій має експоненційний розподіл часу до відмови, то попереднє використання пристрою ніяким чином не впливає на послідовний час його роботи. Тобто, якщо пристрій ще не відмовив до моменту часу  $t$ , то розподіл його часу безвідмовної роботи буде таким же, ніби-то в цей момент часу почав використовуватись абсолютно новий пристрій. Це, безумовно, протирічить багатьом природнім уявленням. Експоненційний розподіл є єдиним розподілом, який має подібну властивість [3, 4].

Для прикладу використання експоненційного розподілу уявимо, що процес, який досліджується (наприклад, коливання ступок повітряозабірника літака типу МиГ-29) має пікові викиди, та що саме ці пікові зміни зовнішніх умов можуть впливати на пристрій, що розглядається, тобто пристрій може відмовити (негативно вплинути на стан елементів кріплення ступок повітряозабірника літака типу МиГ-29) лише в момент указанного пікового викиду. Якщо потік викидів є пуассонівським, то розподіл відмов

даного пристрою є експоненційним, і в цих умовах дійсно попереднє використання пристрою не відобразиться на подальшій тривалості безвідмовної роботи. Однак зрозуміло, що зазначена властивість експоненційного розподілу не дозволяє використовувати цей розподіл для описання пристроїв, які в процесі нормальної експлуатації знаходяться під впливом факторів, які негативним чином відображаються на тривалості їх безвідмовної роботи.

Виключенням з цього правила є складні системи, елементи яких відновлюються в процесі функціонування. Для таких систем розподіл часу між відмовами може бути прийнято наближено експоненційним. Дослідження даних про відмови широкого класу елементів наведено у джерелі [5].

#### 4. Розподіл Вейбулла.

Розподіл Вейбулла характеризує зростаюча інтенсивність відмов при  $m > 1$ , де  $m$  – змінний параметр, що має різні значення для окремих типів виробів (підбирається за результатом обробки експериментальних даних). Цей розподіл названо асиметричним розподілом третього типу для екстремальних значень [6].

Розподіл Вейбулла доцільно використовувати для опису втомлювальних відмов, відмов вакуумних приладів (сильфонних вузлів агрегатів систем літаків, чутливих елементів агрегатів паливної автоматики авіаційних двигунів) та підшипників [7-9].

Для безперервної випадкової величини (час напруцювання)  $t$  щільність розподілу за Вейбуллом виражається формулою:

$$f(t) = (m/t_0) \cdot t^{m-1} e^{-t/t_0}, \quad (7)$$

де  $m$  – змінний параметр, який має різні значення для окремих типів виробів (підбирається в результаті обробки експериментальних даних). Принаймні, якщо  $m = 1$ , маємо експоненційний розподіл: при  $m < 1$  зі зростанням  $t$  величина  $\lambda(t)$  зменшується; при  $m > 1$  зі зростанням  $t$  величина  $\lambda(t)$  збільшується;  $t_0$  – параметр, що зв'язаний з середнім напруцюванням до відмови рівнянням:

$$t_{cp} = b_m t_0^{1/m} \text{ або } t_0 = (t_{cp}/b_m)^m, \quad (8)$$

де  $b_m = \Gamma(1+1/m)$  – гамма-функція,

$$\Gamma(m) = \int_0^{\infty} x^{m-1} e^{-x} dx. \quad (9)$$

#### 5. Нормальний розподіл (нормальний закон розподілу Гаусса).

Основною особливістю нормального розподілу є те, що він є граничним розподілом, до якого наближаються інші закони розподілу.

Сума достатньо великого числа незалежних (або слабо залежних) випадкових величин, що характеризуються різними законами розподілу, наближено підпорядковуються нормальному закону розподілу, причому тим точніше, чим більша кількість випадкових величин підсумовується.

Основне обмеження, що накладається на підсумовування випадкових величин, полягає в тому, щоб всі величини в загальній сумі мали відносно мале значення (до таких випадкових величин відносяться, наприклад, похибки вимірювань, помилки методичного порядку тощо). Якщо ця умова не виконується, та одне з випадкових значень різко перевищує в сумі від всіх інших, то це впливає на суму та визначає, в основному, її закон розподілу. На відміну від експоненційного розподілу та розподілу Вейбулла, що використовуються тільки для позитивних безперервних випадкових величин, нормальний розподіл може використовуватись для безперервних випадкових величин, які можуть приймати як позитивні, так і негативні значення від  $-\infty$  до  $+\infty$ . Щільність нормального розподілу визначається як

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2}\right). \quad (10)$$

Графіки зміни щільності нормального розподілу представлено на рис. 1.

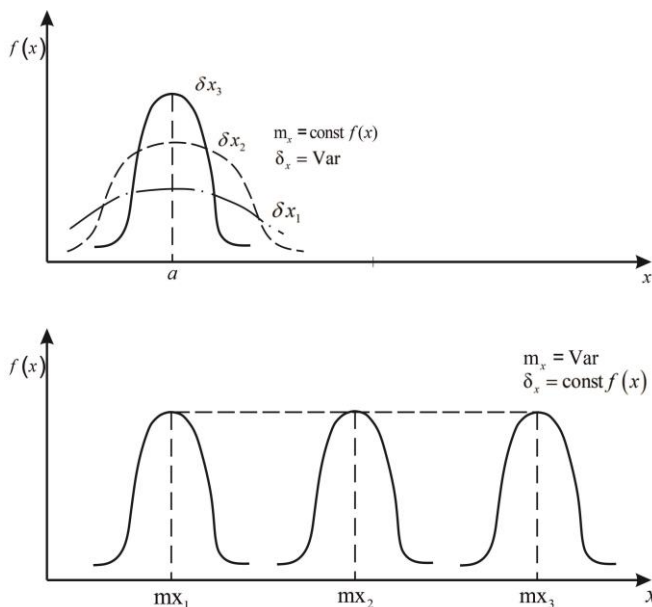


Рис. 1. Графіки зміни щільності розподілу для нормального закону

Розглянемо випадок, коли  $m_x = 0$ ,  $\sigma_x = 1$ , тобто  $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2}$ , де  $m_x$  – математичне сподівання випадкової величини;  $\sigma_x$  – середнє квадратичне відхилення випадкової величини (дисперсія).

Наведемо значення  $f(x)$  для декількох величин  $x$ :

$$x = 1, f(x) = 0,3989; \quad x = 2, f(x) = 0,2420;$$

$$x = 3, f(x) = 0,0540; \quad x = 4, f(x) = 0,0044;$$

$$x = 5, f(x) = 0,0001.$$

Таким чином, при  $x > 3\sigma_x$ , величина  $f(x)$  має малі значення. Тому на практиці при аналізі характеристик розподілу зазвичай обмежуються наближеними значеннями  $f(x)$  тільки до  $x = 3\sigma$ . («правило трьох сігм»). Для оцінки розподілу тривалості строку

служби (часу напрацювання до відмови) нормальний закон в чистому виді не використовується. Розподіл часу напрацювання може бути тільки спрощеним нормальним, що формується з нормального шляхом обмеження інтервалу змінювання цієї величини. На практиці, при виконанні робіт щодо аналізу надійності, у більшості випадків доводиться мати справу зі складними агрегатами, що включають у себе різноманітні складові елементи.

Наприклад, паливний насос підкачки, що встановлюється в баку ЛА складається з двох принципово різних за конструкцією частин: електродвигуна та нагнітаючого вузла-насоса. Електродвигун, який, в свою чергу, складається з ротора, статора та щиткового пристрою, може відмовляти через перевищення напруги струму, порушення електроізоляції, перегріву, зношення щіток тощо. Причинами несправностей гідравлічної частини можуть бути порушення герметичності ущільнень, завищена насиченість палива парогазовими включеннями, збільшення температури палива на вході в насос тощо, тобто можливі різноманітні фізичні причини відмов окремих елементів. Звісно, різним типам відмов притаманні свої специфічні закони розподілу. Наприклад, експоненційному закону розподілу підпорядковуються, в основному, випадкові раптові відмови.

Таким чином, у складних виробів закони розподілу відмов та несправностей є поєднанням (композицією) різних розподілів, які притаманні окремим елементам цього виробу АТ. Більшості з них, у процесі ремонту на АРП, здійснюється збільшення ресурсних показників для забезпечення міжремонтного ресурсу ЛА в цілому. Основною причиною цього є існуючі проблеми імпортозаміщення, а саме у процесі налагодження вітчизняного виробництва комплектуючих (запасних частин), організації освоєння їх ремонту (якщо це доцільно).

Процес формування математичної моделі визначення ймовірнісних властивостей процесу гарантійного обслуговування зразків АТ включає в себе узагальнену кількісну характеристику, яка дозволяє визначити основні кількісні показники надійності цих зразків АТ після ремонту. Припустимо, що в момент часу  $t$  стан парку певного типу АТ описується випадковим вектором  $X(t) = (X_1(t), \dots, X_n(t))$ . Наприклад,  $X(t)$  може бути одномірною змінною, яка приймає завжди два значення:

Перше якщо система працездатна, та друге якщо система знаходиться в стані відмови. Компоненти вектора  $X(t)$  можуть бути значеннями різних параметрів системи, які можуть приймати значення на всій дійсній вісі. Випадковий вектор  $X(t)$  характеризується розподілом ймовірностей  $F(X_1, \dots, X_n; t)$ , тобто ймовірністю того, що  $X_1(t) \leq X_1, \dots, X_n(t) \leq X_n$ .

Кожному стану  $X = (X_1, \dots, X_n)$  поставимо у відповідність деяку числову функцію  $g(X)$ . Для приведеного вище прикладу з двома станами нехай  $g(1) = 1$  та  $g(0) = 0$ . Математичне сподівання цільової функції  $G(t)$  в момент часу  $t$  (часу після гарантійного обслуговування зразка АТ), є величина, яка нас цікавить, і яка може бути розрахована як:

$$G(t) = Eg(x(t)) = \int \dots \int g(X_1, \dots, X_n) dF(X_1, \dots, X_n; t). \quad (11)$$

Узагальнюючи, можна усереднити саму функцію  $G(t)$  на певному інтервалі часу  $a \leq t \leq b$  з урахуванням певної функції  $W(t)$  та отримати:

$$H(a, b) = \int_a^b G(t) dW(t). \quad (12)$$

Зазвичай розглядається постійний інтервал часу  $[0, t]$ . Нехай  $X(u) = 1$ , якщо в момент часу  $u$  зразок АТ функціонує після ремонту нормально, та  $X(u) = 0$  в протилежному випадку. Припустимо, що нормальне функціонування в момент часу  $t$  еквівалентно нормальному функціонуванню зразка АТ і на всьому інтервалі часу  $[0, t]$ . Тоді з (2.12) отримаємо  $G(t) = Eg(X(t)) = P[X(t) = 1]$  – імовірність того, що зразок АТ нормально функціонує протягом часу  $[0, t]$ . Таким чином,  $G(t)$  є надійність зразка АТ у відповідності з наведеним вище визначенням.

Взагалі припустимо, що, якщо не здійснюються ремонти виробу АТ або заміни елементів (комплекс-

туючих), які відмовили після ремонту на АРП, то стан в момент часу  $t$  повністю визначає характер поведінки виробу АТ в інтервалі часу  $[0, t]$ .

## Висновки

На підставі запропонованих в статті композицій законів розподілів відмов можливо визначити основні кількісні показники надійності зразків АТ, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників. Враховуючи те, що зразки АТ є складними виробами (агрегатами), що включають в себе різноманітні складові елементи, методичною основою визначення імовірнісних властивостей процесу їх гарантійного обслуговування є поєднання (композиція) різних розподілів, які притаманні окремих елементам цих зразків.

Моделювання процесу визначення імовірнісних властивостей гарантійного обслуговування зразків АТ, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників дозволяє теоретично визначити основні кількісні показники надійності цих зразків після ремонту.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Іленко Є.Ю., Сушак М.Б., Стешенко П.М. Визначення міжремонтного ресурсу авіаційних двигунів в процесі імпортозаміщення комплектуючих виробів // Збірник наукових праць ХУПС. 2018. № 4 (56).
2. Косточкин В.В. Надежность авиационных двигателей и силовых установок. М., Машиностроение, 1988. 272 с.
3. Р. Барлоу, Ф. Прошан. Математическая теория надежности. М., Советское радио, 1969, 488 с.
4. Feller W., 1957, An Introduction to Probability Theory and Its Applications, v.1, 2 nd ed., John Wiley and Sons, New York.
5. Dais D.J., 1952, An Analysis of failure data, J. Amer. Statist. Assoc., v. 47, №258, p. 113–150.
6. Gumbel E.J., 1958, Statistics of Extremes, Columbia University Press, New York.
7. Weibull W., 1939, A statistical theory of the strength of materials. Ing. Vetenskaps Akad. Handl, №151.
8. Kao J.H.K., 1958, Computer methods for estimating Weibull parameters in reliability studies, IRE Transactions on Reliability and Quality Control, PGRQC-13, p. 15–22.
9. Leiblein J. and M.Zelen, 1956, Statistical investigation of the fatigue life of deep-groove ball bearings, J. Res., Nat. Bureau Stand., v. 57, p. 273–316.

Надійшла до редколегії 22.02.2021

Схвалена до друку 28.04.2021

## Determination of credible properties of process of warranty maintenance of standards of aviation equipment, which is exploited after limits of the preliminary set resource indexes

Valeriy Masyagin, Mykhailo Sushak, Bezdielnyi Vitalii

**Abstract.** The analysis of mathematical model that it maybe to take for basis at forming of methodologies of determination of reliability of standards of aerotechics, that is exploited outside the preliminary set resource indexes, indexes is presented. Laws of distribution of refuses that arise up on the standards of aerotechics of Ukraine in then repair period are casual sizes, matter very much for a theory and practice of works in relation to providing of reliability of wares. Knowledge of these laws allows to expect and to forecast reliability of wares on the stages them warranty service. An especially large value laws have at the estimation of validity establishment and continuation of resource of wares of aerotechics to the maximum level, in fact safety of flights of aircrafts depends on it. From the large variety of laws of distribution of casual sizes that is worked out in the theory of chances, a most value for reliability such laws have: binomial and Poisson - for discrete quantities; of Weibull and normal - for continuous sizes. In addition, a law is sometimes used "gamut - to distribution" et al. For difficult distributions compositions of the indicated laws of distribution and brief laws of distribution are used. Use of that or other law conditioned by descriptions of display and changes of refuses of wares of aviation equipment in time. For most mechanical, hydraulic and electric devices (mechanisms, blocks) it is practically impossible to distinguish only sudden or only gradual refuses. There are various combinations of both types of refuses in relation to every certain good; by the analysis of statistical data it will be to estimate their accordance to the theoretical law of distribution of refuses. It is thus necessary to mark that the use is for the aviation wares of exponential law of distribution, that characterizes sudden refuses, needs the special ground and can be suffered for comparatively short intervals of time of exploitation of standards of aviation equipment in a TBO period. On the basis of offer in the article compositions of laws of distributions of refuses it maybe to define basic quantitative reliability of standards of aviation equipment, that is exploited outside the preliminary set resource indexes, indexes. Taking into account that standards of aviation equipment are difficult wares that include for itself various component elements, by methodical basis of determination of probabilistic properties of process them warranty service there is combination of different distributions, what inherent to the separate elements of these standards. Design of process of determination of probabilistic properties of warranty maintenance of standards of aviation equipment, that is exploited outside the preliminary set resource indexes allows in theory to define basic quantitative reliability of these standards indexes after repair.

**Keywords:** mathematical model, reliability index, aviation equipment, probabilistic properties, resource index.

М. Й. Заполовський, М. В. Мезенцев

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## ЦИФРОВА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА

**Анотація.** Розглянуті питання розробки та дослідження моделей систем автоматичного керування (САК) електропередачі дизель-поїзда з електроприводом змінного струму. Проведено огляд літературних джерел на задану тематику та аналіз існуючих підходів до розв'язання. Розглянуті як стандартні алгоритми керування окремих контурів системи управління так і варіанти з використанням методів цифрового управління. Побудовані математичні моделі, структурні схеми моделей контурів САК електропередачі, запропоновані рекурентні співвідношення для окремих контурів управління, проведено моделювання їхнього функціонування. Отримані аналітичні співвідношення, які можуть бути використані для розробки структури САК електропередачі дизель-поїзда і розрахунку її параметрів при забезпеченні певного критерію якості. Визначені параметри САК вихідної напруги інверторів (каналу формування струму) асинхронного електродвигуна, які забезпечують задану якість керування та допустимі межі зміни параметрів САК.

**Ключові слова:** системи автоматичного керування, електропередача, електропривод змінного струму, алгоритми управління, дизель-поїзд, математична модель, рекурентні співвідношення.

### Вступ

Огляд робіт, присвячених задачі розробки систем керування електропередачами локомотивів та дизель-поїздів з електроприводом змінного струму показує, що в даний час значна увага приділяється сучасним оптимальним систем керування на основі сучасних досягнень проектування з використанням методів оптимізації, нечіткої логіки, нейрокомп'ютерних технологій, орієнтованих на побудову не аналогових, а цифрових систем керування (ЦСК), які забезпечують функціонування як його самого, так і підсистем окремо, зокрема цифрових систем керування електроприводом (ЦСКЕП). Ця тенденція має місце не тільки в Україні, але і країнах ближнього і далекого зарубіжжя [1 – 4].

ЦСКЕП дозволяють реалізувати більш складні принципи керування згідно запропонованих алгоритмів – векторного керування, керування за нейромережевими технологіями, реалізацію оптимальних законів керування і т.п. [4 – 6]. Крім того вони відрізняються перевагою цифрових елементів у порівнянні з аналоговими: великою завадостійкістю, простотою і зручністю в цифровому заданні програми функціонування тих чи інших регуляторів системи керування, тенденцією до зниження габаритів і вартості систем, до підвищення надійності і ступеня інтеграції цифрових вузлів.

Тому розробка цифрових систем керування електроприводом змінного струму та їх моделей для дослідження є актуальною задачею.

**Постановка задачі і аналіз відомих публікацій.** Для рішення завдань розробки ЦСК, зокрема алгоритмів керування, присвячено значне число публікацій [2, 5, 7, 8] та зазвичай використовується математичне моделювання, сучасні методи теорії автоматичного керування та оптимізації, прогресивні інформаційні технології, технічні засоби реаліза-

ції на базі мікропроцесорної техніки. Структура ЦСК загалом аналогічна структурам аналогових систем керування, тому синтез регуляторів ЦСК простіше проводити за методикою для аналогових систем, а результати використовувати для їхньої параметризації та розробки алгоритмів (рекурентних співвідношень). Показники якості синтезованих ЦСК можливо визначити за допомогою моделювання.

Цифрові СКЕП відрізняються від неперервних СКЕП, головним чином, елементною базою, її дискретністю за рівнем сигналів і за часом їх дії. ЦСКЕП, як і неперервні СКЕП, формують ті ж самі задачі керування алгоритмами, використовують методи керування – модального керування, підпорядкованого регулювання, послідовної і паралельної корекції і т.д.

Однаково в реалізації алгоритмів керування може проявитись дискретність ЦСКЕП, яка буде відображатись на динамічних і точнісних показниках електропривода. До цифрових систем керування (ЦСК) відносять системи, які складаються з цифрових елементів. В складі ЦСК цифрові елементи утворюють вузли, які виконують ті чи інші задачі керування. На рис. 1 подана схема ЦСК деякої координати  $x$  електропривода, де ЦЗП – цифровий задавальний пристрій, ЦС – цифровий суматор, ЦР – цифровий регулятор, ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач, АЦП – аналого-цифровий перетворювач, КП-Д – система «керований перетворювач – двигун», в якій КП є вихідною виконавчою частиною СКЕП.

Вхідний цифровий сигнал  $X_{30}$  встановлює початкові параметри для  $X_3$ , наприклад,  $X_{3\max}$ ,  $\dot{X}_{3\max}$ ,  $\ddot{X}_{3\max}$ , що означає для керованої координати електропривода  $X$ , відповідно задані значення переміщення, максимально допустимої швидкості та прискорення.



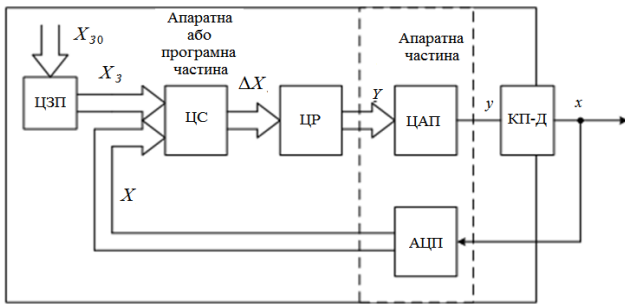


Рис. 1. Схема цифрової системи керування електроприводу за допомогою координати  $X$

Функціональні вузли ЦСК, що показані на рис. 1, можуть бути реалізовані двоюко:

1) апаратно – кожний функціональний вузол являє собою окремий блок у складі ЦС, виконаний на мікросхемах малого і середнього ступеня інтеграції;

2) програмно-функціональні вузли виконуються на єдиному універсальному цифровому приладі – мікроконтролері і алгоритм їх функціонування визначається програмою роботи цього приладу.

Для зміни алгоритму керування ЦСК при апаратному способі необхідна заміна відповідних блоків керування. При програмному способі для зміни алгоритму керування необхідна лише зміна програми на тій самій елементній базі. Завдяки швидкому вдосконаленню сучасної технології виготовлення мікроконтролерів і мікропроцесорних приладів, підвищення їх якості і зниження вартості, програмний спосіб керування все ширше впроваджується в системи керування електроприводами.

Математичний опис (математичні моделі) цифрових систем проводиться в основному двома методами: рівняннями в кінцевих різницях;  $z$ -функціями ( $z$ -перетворенням Лапласа). Метод оцінки властивостей ЦСК можливо проводити на основі загальної передавальної функції як аналогової системи та наступному  $z$ -перетворенні цієї функції і дослідження отриманого рекурентного співвідношення методом моделювання.

Розглянутий підхід використано при розробці цифрової системи управління електропередачі дизель-поїзда з електроприводом змінного струму. На першому етапі – за допомогою моделювання з використанням пакету MATLAB уточнені структура і параметри регуляторів контурів системи управління згідно заданих якісних показників щодо забезпечення умов функціонування об'єкта в цілому, на другому етапі – на основі  $z$ -перетворення отримані алгоритми (рекурентні співвідношення) для контуру керування електроприводу.

Що до першого етапу, то за допомогою моделювання з використанням пакету MATLAB уточнені структура і параметри регуляторів контурів системи керування згідно заданих якісних показників. Частково результати досліджень приведено в роботах [3,8].

**Метою даної роботи** є розроблення рекурентних співвідношень ЦСК для реалізації регуляторів системи керування електропередачі дизель-поїзда з

електроприводом змінного струму, визначення параметрів системи автоматичного керування та значення кроку дискретизації, які забезпечують задану якість керування і допустимі межі зміни параметрів ЦСК, проведення досліджень та отримання якісних характеристик роботи систем керування в процесі моделювання з використанням пакету MATLAB.

### Основна частина

З аналізу системи керування електропередачі дизель-поїзда виходить, що найбільш критичною системою в процесі функціонування є регулятор вихідної напруги інверторів електроприводу. Його модель може бути представлена сукупністю моделей каналу струму і каналу потужності. Ці канали призначені для формування сигналу керуючого впливу по вихідній напрузі інверторів [8, 10].

Оскільки структури каналів струму та потужності ідентичні, то рекурентні співвідношення за умови використання аналогічних перетворень також будуть мати однакові структури. Відрізнятися будуть тільки параметрами (коефіцієнтами підсилення та постійними часу) відповідних елементів структурних схем, які визначаються на етапі дослідження аналогових структур системи керування. Структурна схема моделі системи автоматичного керування (САК) електропередачі дизель-поїзда по каналу формування струму, приведена на рис. 2.

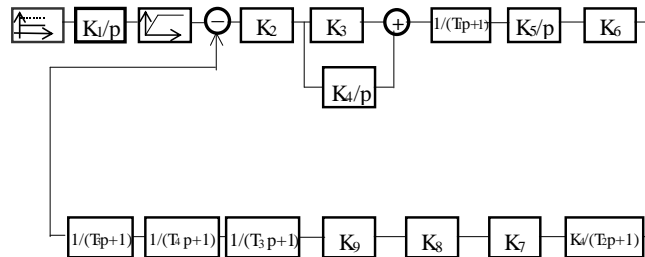


Рис. 2. Структурна схема моделі електропередачі дизель-поїзда по каналу формування струму

Значення вихідних параметрів структурної схеми (конструктивні параметри) такі:

$$K_6 = 95; K_7 = 6.7; K_8 = 0.017; K_9 = 2;$$

$$T_1 = 0.1; T_2 = 1; T_3 = 0.016; T_4 = 0.007.$$

Блок формування завдання  $W_1(p)$ , в якого вхідним сигналом є значення номера позиції контролера машиніста:

$$W_1(p) = K_1 / p. \quad (1)$$

Блок пропорційно-інтегрального регулятора  $W_2(p)$ :

$$W_2(p) = K_2(K_3 + K_4 / p). \quad (2)$$

Блок фільтру сигналів пропорційно-інтегрального регулятора  $W_3(p)$ :

$$W_3(p) = 1 / (T_1 p + 1). \quad (3)$$

Блок задатчика інтенсивності  $W_4(p)$ :

$$W_4(p) = K_5 / p. \quad (4)$$

Особливістю блока задатчика інтенсивності є те, що він має змінну структуру в процесі функціонування. В залежності від знаку похідної вхідного сигналу – різні значення коефіцієнта  $K_5$ , який впливає на якісні показники об'єкта керування.

Блок об'єкта керування (електроприводу дизель-поїзда)  $W_5(p)$ :

$$W_5(p) = K_6 / (T_2 p + 1). \quad (5)$$

Блок датчиків та фільтра сигналів елементів зворотного зв'язку  $W_6(p)$ :

$$W_6(p) = K_7 K_8 K_9 / (T_3 p + 1)(T_4 p + 1)(T_5 p + 1). \quad (6)$$

Моделі блоків, які описуються передавальними функціями (1) – (6), з однієї сторони використовувались для уточнення структури та визначення параметрів елементів схеми моделі електропередачі дизель-поїзда по каналу формування струму, з іншої – для отримання рекурентних співвідношень.

На першому етапі проводилися дослідження САК з метою уточнення структури та визначення параметрів регулятора каналу формування струму, відповідно до схеми, приведеної на рис. 2. Основна увага приділялася питанням, пов'язаними з адекватністю розроблених моделей і визначенням параметрів САК, що забезпечують задану якість керування. При цьому показниками якості виступали величина перегулювання, час перехідного процесу, число перегулювання, значення швидкодії.

В результаті досліджень уточнені структурні схеми каналів регулювання електропередачі. Значення параметрів для САК каналу струму, які задовольняють критерію якості наступні:

$$K_1 = 0.4; K_2 = 2.5; K_3 = 1.0;$$

$$K_4 = 0.2; K_5 = 0.03; T_1 = 0.1.$$

Питання, які розглядаються в даній роботі, спрямовані безпосередньо на розробку та дослідження рекурентних співвідношень системи керування електропередачі дизель-поїзда по каналу формування струму електроприводу дизель-поїзда.

З результату аналізу структурної схеми (рис. 2) виходить, що математичну модель системи керування можливо представити передавальними функціями  $W_2(p) - W_5(p)$ . Основу даної системи складають операції інтегрування, реалізацію яких при розробці рекурентних співвідношень можливо виконувати за допомогою різних апроксимуючих співвідношень. Виходячи із можливості використання певного типу мікропроцесорної техніки та враховуючи необхідну швидкодію і точність реалізації, розглянута можливість застосування рекурентного співвідношення на одному із можливих варіантів вибору апроксимуючого співвідношення – прямокутників або трапецій.

Для знаходження рекурентних співвідношень використано поняття імпульсної передавальної функції  $H[z]$  та методику використання операторів інтегрування ( $I$ ) і диференціювання ( $D$ ).

Операція інтегрування за правилом прямокутників в операторній формі запису має вигляд:

$$I = \tau / (z - 1),$$

де  $\tau$  – крок інтегрування.

Операція інтегрування за правилом трапецій:

$$I = \tau / 2 \left[ \frac{(z+1)}{(z-1)} \right].$$

За методом прямокутників рекурентне співвідношення описується наступним чином:

$$y_n = -(a_{14}\tau - 3)y_{n-1} + (2a_{14}\tau - 3)y_{n-2} + (1 - a_{14}\tau)y_{n-3} + a_{15}\tau^2 x_{n-2} + (a_{16}\tau - a_{15})\tau^2 x_{n-3}, \quad \text{де} \quad (7)$$

$$k_{10} = k_2 k_3, k_{11} = k_2 k_4, k_{12} = k_5 k_{10}, k_{13} = k_5 k_{11}, \\ a_{14} = 1/T_1, a_{15} = k_{12}/T_1, a_{16} = k_{13}/T_1.$$

де  $\tau$  – крок інтегрування.

За методом трапецій:

$$y_n = \frac{1}{(a_{14}T + 1)} \{ [(a_{14}T + 3)y_{n-1} + (a_{14}T - 3)y_{n-2} - (a_{14}T - 1)y_{n-3}] + T^2 [(a_{16}T + a_{15})x_n + (3a_{16}T + a_{15})x_{n-1} + (3a_{16}T - a_{15})x_{n-2} + (a_{16}T - a_{15})x_{n-3}] \}, \quad (8)$$

де  $T = \tau / 2$ .

При програмній реалізації блоку задатчика інтенсивності, який має перемінну структуру в процесі функціонування, можливо в програмі реалізації алгоритму (рекурентного співвідношення) передбачити виконання формування його вихідного сигналу  $y_n$  в залежності від вхідного  $x_n$  згідно наступного співвідношення:

$$y_n = y_{n-1} + k_5 \cdot \tau \cdot x_{n-1},$$

$$\text{де } k_5 = \begin{cases} 0.03, & \text{якщо } y_n - y_{n-1} \geq 0; \\ 0.2, & \text{якщо } y_n - y_{n-1} < 0. \end{cases}$$

Значення величини періоду дискретизації (кроку інтегрування) визначалось для кожного рекурентного співвідношення в процесі дослідження шляхом моделювання.

Крім того проводилось порівняння отриманих показників перехідного процесу вибраного рекурентного співвідношення з отриманими показниками моделювання даної системи, використовуючи метод Адамса.

В процесі дослідження системи керування, в основу якої покладено використання рекурентних співвідношень на основі інтегрування за методом прямокутників (7) і методом трапецій (8) в замкнутій системі управління, значення кроку дискретизації  $\tau$  становить величину не більше 0.0125 сек. за умови максимальної позиції контролера машиніста



(значення вхідного сигналу). Це пояснюється тим, що в контурі керування присутні елементи, які формують сигнал зворотного зв'язку (фільтри) з порівняно меншими постійними часу.

Постільки вираз рекурентного співвідношення за методом прямокутників містить в собі число елементарних операцій менше порівняно з методом трапецій, а значення кроку дискретизації  $\tau$  становить ту саму величину, пропонується використання методу прямокутників для формування сигналу керування.

Результати досліджень системи керування приведено на рис. 3, 4 і табл. 1, 2.

Умовні позначення:

$k_2, k_5$  – коефіцієнти передачі системи керування (рис. 2);  $N$  – число перерегулювання;

$T$  – час перехідного процесу (час регулювання);

$\Delta$  – величина перерегулювання;

$V$  – швидкодія (швидкість зміни регулюючої змінної (току ТАД)).

На рис. 3 приведені перехідні процеси, що відповідають струму ТАД при зміні одного з параметрів (коефіцієнта підсилення) САК (коефіцієнта  $k_5$  задатчика інтенсивності) за умови використання операції інтегрування за правилом прямокутників (методом Ейлера) при значенні кроку дискретизації  $\tau = 0.0125$  с.

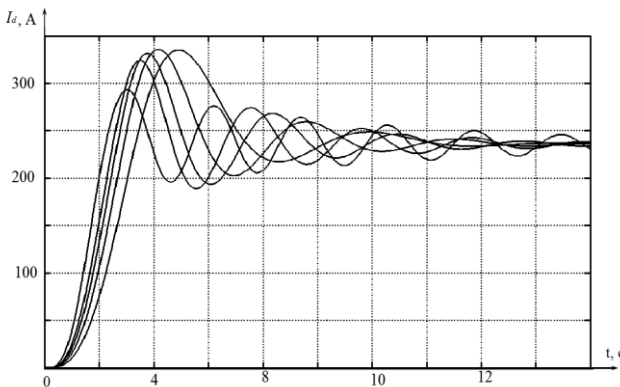


Рис. 3. Залежності струмів ТАД при зміні коефіцієнта  $k_5$

На рис. 4 приведені перехідні процеси, що відповідають струму ТАД при зміні одного з параметрів (коефіцієнта підсилення  $k_2$ ) САК за умови використання операції інтегрування за правилом прямокутників при значенні кроку дискретизації  $\tau = 0.0125$  с.

Процеси носять стійкий характер і не суперечать поняттям теорії управління щодо характеру поведінки якісних показників в залежності від коефіцієнту підсилення.

Критичне значення кроку дискретизації за умови використання операції інтегрування за правилом прямокутників  $\tau = 0.015$  с., при якому процес носить явно нестійкий характер.

В результаті аналізу встановлено, що оптимальними значеннями параметрів системи керування для системи, яка досліджувалась, являються:

крок дискретизації  $\tau = 0.0125$  с.;  
коефіцієнт підсилення пропорційно-інтегрального регулятора  $k_2 = 2.5$ ;

коефіцієнт підсилення задатчика інтенсивності  $k_5 = 0.03$ .

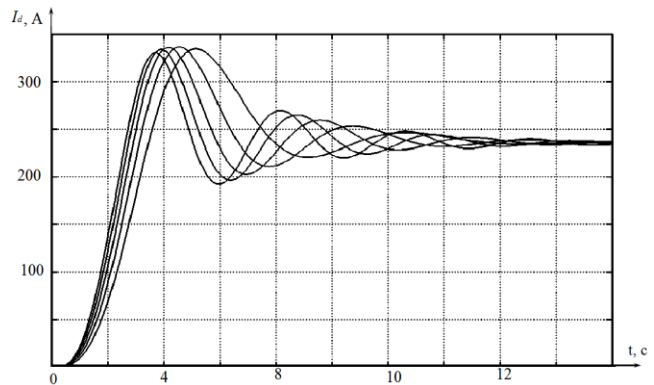


Рис.4. Залежності струмів ТАД при зміні коефіцієнта  $k_2$ .

Таблиця 1 – Результати дослідження системи керування ( $k_2 = 2.5$ )

$k_5$	$N$	$T, c$	$\Delta, \%$	$V, A/c$
0.02	3	15	42.6	75.0
0.03	4	18	42.5	83.75
0.04	6	20	40.4	100.0
0.05	8	21	38.3	101.1
0.08	15	30	23.4	101.3

Таблиця 2 – Результати дослідження системи керування ( $k_5 = 0.03$ )

$k_2$	$N$	$T, c$	$\Delta, \%$	$V, A/c$
1.5	2	16	42.4	71.4
2.0	3	17	42.5	78.9
2.5	4	18	42.5	93.75
3.0	6	20	42.4	101.0
3.5	8	22	42.3	102.1

В результаті досліджень визначені параметри системи керування, допустимі межі зміни параметрів САК та величини періоду дискретизації, що має першочергове значення за умови реалізації отриманих рекурентних співвідношень засобами мікропроцесорної техніки.

Отримані структурні схеми моделей САК використані при розробці цифрової системи управління електропередачі дизель-поїзда, основу якої складають алгоритми функціонування (рекурентні співвідношення) для окремих контурів загальної схеми керування.

### Висновки

1. На основі аналітичного огляду існуючих алгоритмів та систем автоматичного управління запропоновані структурні схеми регуляторів контурів

САК електропередачі дизель-поїзда з тяговим електроприводом змінного струму та їх математичні моделі для дослідження системи керування з метою визначення параметрів регуляторів за умови забезпечення певних критеріїв якості та розробки рекурентних співвідношень.

2. Запропоновані математичні моделі, які реалізовані у вигляді машинної моделі і проведені за її допомогою дослідження, розроблені рекурентні співвідношення показали перспективність такого підходу при проектуванні сучасних систем керування електропередачі локомотивів та дизель-поїздів з тяговими електроприводами змінного струму.

3. Аналітичні співвідношення, які отримані у вигляді рекурентних співвідношень для реалізації алгоритмів управління регулятора вихідної напруги інверторів (каналу формування струму), можуть бути використані при побудові системи керування за допомогою засобів мікропроцесорної техніки, що дозволить можливості створення цифрової сис-

теми управління електропередачею дизель-поїзда згідно сучасних тенденцій.

4. Визначені параметри системи автоматичного управління вихідної напруги інверторів (каналу формування струму) асинхронного електродвигуна, які забезпечують задану якість керування (час перехідного процесу, величину перерегулювання, число перерегулювання, значення швидкодії), допустимих меж зміни параметрів САКР та значення періоду дискретизації за умови реалізації отриманих рекурентних співвідношень засобами мікропроцесорної техніки.

5. На підставі досліджень в замкнутій системі управління, які проведені шляхом моделювання за допомогою пакету MATLAB показано, що структура системи керування із значеннями параметрів, що пропонуються, задовольняють вимогам щодо забезпечення якісних показників та працездатності в робочому проміжку швидкостей (в залежності від завдання – номеру позиції контролера машиніста).

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Horstmann D. 100 Jahre Entwicklung der Antriebs-technik für elektrische Bahnen. Teil 2 / D. Horstmann, R. Wagner, W-D. Weigel // Elek. Bahnen. – 2003. – No 7. – P. 338 – 345.
2. 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.
3. Запоровський М.Й. Синтез управлін для оптимізації динамічних процесів електроприводу змінного струму / М.Й. Запоровський, В.В. Скороделов, М.В. Мезенцев // Системи управління, навігації та зв'язку. – Вип. 4(50). Полтава. 2018. С. 38-41.
4. Грибко В.В. Мікропроцесорні системи керування електроприводами / В.В. Грибко, В.Ю. Кучерук, О.М. Возняк – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 146 с.
5. Isermann R. Digital Control Systems: Volume 1: Fundamentals, Deterministic Control / R. Isermann – Springer Science & Business Media, 2013. – 336 p.
6. Dressler Helmuk MICAS – Microcomputer für Fahrzeuge // Elektrische Bahnen. – 1981. – Vol. 79. – №12. – P. 411 – 417.
7. Поповіч М.Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / М.Г. Поповіч, О.Ю. Лозинський. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
8. Запоровський М.Й. Розробка та дослідження алгоритмів цифрової системи автоматичного регулювання (САР) електропередачі дизель-поїзда / М.Й. Запоровський, О.К. Пермяков // Тези доповідей шостої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатизації» - Черкаси-Баку-Бельсько-Бяла-Харків-2018. – С. 60.
9. Запоровський Н.И. К вопросу разработки цифровой системы автоматического регулирования электропередачи дизель-поезда / Н.И. Запоровский, О.К. Пермяков // «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» - Полтава-Баку-Харків-Жиліна - 2018. – С. 10.
10. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления / А.А. Ерофеев – СПб.: Политехника, 2001. – 302 с.
11. М.В. Мезенцев, М.Й. Запоровський, М.В. Ліпчанський. Розроблення та дослідження системи керування електропередачі дизель-поїзда на основі методів цифрового управління // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава, ПИТУ, 2019. - Випуск 2(54). - С. 46-50.

Received (Надійшла) 19.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.03.2021

#### A digital model of the control system of diesel train electric drive

Mykola Zapolovsky, Mykola Mezentsev

**Abstract.** The questions of development and research of models of automatic control systems (ACS) of electric power transmission of a diesel train with electric actuator of an alternating current are considered. A review of literary sources on a given topic and an analysis of existing approaches to the decision is made. Both standard control algorithms for separate control system contours and variants using digital control methods are considered. The constructed mathematical models, structural schemes of the models of circuits of ACS, proposed recurrence ratios for the individual control loops, carried out the modeling of their functioning. The obtained analytical relations which can be used for the development of the structure of the electric power transmission line of the diesel train and the calculation of its parameters when providing a certain quality criterion. The parameters of the ACS of the output voltage of the inverters (current generation channels) of the asynchronous electric motor are determined, providing the specified quality of control and allowable limits of change of parameters of the ACS.

**Keywords:** automatic control systems, power transmission, AC electric drive, control algorithms, diesel train, mathematical model, recurrence relations.

В. Б. Кононов, О. А. Кононова, В. В. Олексюк

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

## МЕТОДИ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ СЕРЕДОВИЩА

**Анотація.** Предметом статті є основні методи та принципи побудови засобів вимірювання вологості при контролі параметрів навколишнього середовища. **Метою статті** є визначення доцільності використання того чи іншого методу вимірювання вологості у різних умовах експлуатації техніки. **Задача, що вирішується,** – обґрунтування методів та принципів вимірювання вологості середовища різними методами та способами, що застосовуються у різних галузях промисловості. **Висновки:** з усіх запропонованих методів найбільш розповсюдженими методами вимірювання вологості є конденсаційний гігрометр, що використовується у газовій та нафтовій промисловості, ємнісний та резистивний методи, які вимірюють вологу у рідинах та сипучих матеріалах, кулонометричний метод дозволяє вимірювати вологу при низьких значеннях, а також психрометри, які є найбільш розповсюдженими завдяки своїй стабільності при не високій вартості.

**Ключові слова:** вологість, вологовміст, точка роси, гігрометр.

### Вступ

**Постановка задачі.** Вимірювання і контроль вологості середовищ являється актуальною задачею як сучасних наук, так і її різних сферах. Вода входить до складу навколишнього повітря і є необхідною складовою для всіх живих створінь. Комфортність навколишніх умов визначається, в основному, двома факторами: відносною вологістю і температурою. Вологовміст - параметр, який відіграє важливу роль при забезпеченні якості і характеристик високотехнологічних, технічних і промислових процесів. Даний параметр в кількісному виразі може характеризуватись різними фізичними величинами, серед яких найбільш широко розповсюдженим являється і характеристика високотехнологічних технічних і промислових процесів. Розповсюдженим є абсолютна вологість, молярна доля вологи, об'ємний вологовміст. Даний параметр в кількісному виразі може характеризуватись різними фізичними величинами, серед яких найбільш широко розповсюдженим являється абсолютна вологість, об'ємний вміст вологи, температура точки роси, відносна вологість. Робота багатьох приладів також сильно залежить від рівня вологості. Всі характеристики приладів визначаються при відносній вологості 50% і температурі 20-25°C. Рекомендується підтримувати такі ж умови і у робочих приміщеннях (правда, тут є виключення: наприклад, у виробничих кімнатах класу А вологість повинна бути 38%). Таким чином вимірювання

вологості є невід'ємною складовою процесу контролю у різних сферах людської життєдіяльності.

**Аналіз літератури.** В існуючій літературі [1-8] визначені основні методи вимірювання вологості, а також перспективи розвитку нових засобів вимірювання вологості з застосуванням автоматизованих, багатофункціональних, високоточних і швидкодіючих пристроїв [8]. У літературі [5, 7] розглянуті принципи побудови вимірювачів вологості твердих матеріалів. Але в цієї літературі не розглядаються питання конкретизації вимірювань вологості відповідних галузей промисловості.

**Метою статті** є аналіз та обґрунтування доцільності використання засобів вимірювання вологості при експлуатації техніки на різних підприємствах та в різних галузях промисловості.

### Основний матеріал

Для вимірювання й контролю вологості в газових середовищах застосовуються гігрометри, в основі яких лежать різні методи вимірювання вологості. Той чи інший метод має свої відмінні переваги для даної вимірювальної задачі, що й визначає його вибір в кожному конкретному випадку. Типові технологічні процеси, що вимагають контролю вологості наведені у табл. 1 (X – нафтодобувна та нафтопереробна промисловість, Y – харчова промисловість, текстильна промисловість, виготовлення лікарських препаратів, виготовлення паперової продукції, виробів з кераміки, резини, телекомунікації).

Таблиця 1 - Типові технологічні процеси контролю вологості

Сфера діяльності	Технологічний процес
Газова промисловість	Контроль вмісту вологи в якості примусу в чистих газах і газових середовищах.
Напівпровідникова промисловість	Контроль вологи в технологічних газах та газових середовищах. Потрібний рівень вмісту вологи не вище -96°C температури точки роси.
Авіаційна та космічна техніка	Контроль складу й властивості газових середовищ при випробуваннях авіаційної техніки, реактивних двигунів. Метрологічні дослідження. Спеціальне зварювання та фарбування. Висушені технологічні гази. Вимагаючий рівень вмісту вологи нижче -100°C температури точки роси.
X	Контроль вологи в технологічних газах. Контроль вологи в рідинах.
Атомні електростанції	Контроль вологи газового холодо-гента в реакторі, в технологічних газових магістралях. Вимагаючий рівень вмісту вологи від -60 до -100°C температури точки роси.
Y	Контроль вологи в технологічних газах, в рідких та сипучих матеріалах. Контроль вологи в чистих кімнатах, в виробничих приміщеннях.

До найбільш широко розповсюджених в сучасній вимірювальній практиці методів можна віднести конденсаційний метод, ємнісний і резистивний методи, оптичні методи ІЧ та УФ поглинання та психрометричний метод вимірювання відносної вологості.

Конденсаційний метод. Сутність конденсаційного методу вимірювання температури точки роси полягає в охолодженні аналізуючого газу до температури, при якій починається випадіння конденсату вологи та вимірювання даної температури.

В конденсаційному гігрометрі точки роси конденсат у вигляді роси або льоду випадає на плоскій дзеркальній поверхні металевої пластини. Випадання конденсату визначається оптичною системою шляхом визначення зміни інтенсивності відбитого і розсіяного з поверхні пластини світла. Температура конденсації визначається по термометру опору, вмонтованого в пластину. Результат вимірювання температури точки роси може бути визначений по моменту випадіння конденсату або по моменту встановлення врівноваженої товщини конденсату. Конструкція гігрометрів варіюється від заглиблених щупів до стаціонарних пристроїв проточного типу з зовнішню системою пробо відбору. Поряд з оптичною системою, наявність конденсату може визначатись шляхом вимірювання електричних параметрів на поверхні пластини або частоти вмонтованого в її поверхню кварцового резонатора.

Основні переваги конденсаційних гігрометрів – більш висока точність вимірювання вологи, висока довготривала стабільність, широкий діапазон вимірювання. До недоліків можна віднести складність налаштування, вплив наявності забруднення в аналізуючому газі на точність вимірювання, складність визначення агрегатного стану конденсату при температурах нижче 0°C, тривалий час вимірювання на нижній межі діапазону, високу вартість приладу.

Переважаюча область застосування конденсаційних гігрометрів - контроль температури точки роси газових середовищ в нафтовій та газовій промисловості безпосередньо в газових магістралях. Крім того, внаслідок широкого температурного діапазону вимірювання, конденсаційні гігрометри застосовуються для вимірювання в процесах сушки при високих температурах, в харчовій промисловості та в кліматичних камерах.

В теперішній час широко розповсюджені переважно закордонні високоточні гігрометри температури точки роси для лабораторних та промислових вимірювань серії DP фірми «BMW Electronic» (Швейцарія); серії S4000 фірми «MICHELL Instruments» (Великобританія); серії DewPro фірми «General Eastern» (Германія); для нафтової та газової промисловості можна відмітити серію «Конг-Прима» ВАТ НПФ «Вимпел» (м. Москва).

Ємнісний та резистивний методи. Сутність ємнісного та резистивного методів полягає у вимірюванні електричних параметрів гігроскопічного матеріалу, що нанесений на датчик вологості і адсорбуючий молекули води. В більшості сучасних датчиків реалізована тонкоплівочна технологія створення гігроскопічного шару. Зазвичай гігромет-

ри виготовлені в вигляді щупів з встановленим в безпосередній близькості один від одного датчиками вологості та температури (внаслідок наявності температурної залежності датчика вологості), що підключені кабелем до перетворювача.

Форма та розміри щупів визначаються конкретно вимірювальною задачею. Датчики комплектуються фільтрами для запобігання забруднення чутливого гігроскопічного шару.

Окремим типом датчиків ємного типу є датчики точки роси з оксидним та кремнієвим гігроскопічними матеріалами, що мають діапазон вимірювання у області низьких вологостей.

Основні переваги ємнісних і резистивних гігрометрів - простота використання, широкий спектр областей використання, при наявності відповідних адапторів можливість вимірювання в рідких та сипучих матеріалах, доступна вартість.

До недоліків можна віднести можливості зсуву кривої градування та гістерезис, при використанні при підвищених температурах та вологості; пошкодження агресивними домішками; виходу з ладу при випаданні конденсату на поверхні чутливого елемента (ЧЕ).

Область застосування ємнісних та резистивних гігрометрів найбільш широка: від контролю вологості виробничих газових середовищ, вологості в приміщеннях та робочих зонах, в сховищах, холодильниках, метеорологічних вимірюваннях, контролю сухих технологічних газів в трубопроводах до вимірювання рівноважної вологи в сипучих матеріалах, поверхневої вологості.

В даний час широко розповсюджені ємнісні гігрометри серії ІВГ-1 та ІВТМ-7 ВАТ «Практик-НЦ» (м. Зеленоград), серії ІВА ТОВ «Мікрофор» (м. Москва), серій «Волна», «Істок» ВАТ «Ангарське ОК-БА» (м. Ангарськ), гігрометри з полімерними датчиками фірм «Testo» (Германія), «Vaisala» (Фінляндія), «Rotronik» (Швейцарія), «General Eastern» (Германія), гігрометри з алюмінієво-оксидними датчиками «Shaw» (Великобританія), «Endress+Hauser» (Германія), «Panamertis» (Великобританія), «General Eastern» (Германія), з кремнієвими датчиками «МСМ» (Великобританія) та ін.

Кулонометричний метод. Принцип дії кулонометричного методу полягає в наступному. Датчик кулонометричного гігрометра містить два електрода, на які нанесена плівка високоефективного сорбенту-фосфорного ангідриду ( $P_2O_5$ ) з високим питомим опором в сухому вигляді і високою провідністю після адсорбції води із аналізуючого газу. Газ пропускається через датчик над тонкою плівкою  $P_2O_5$  з двома металевими електродами, до яких підводиться постійний струм, внаслідок чого в датчику безперервно протікають два процеси: поглинання вологи плівкою з утворенням фосфорної кислоти і електроліз води з регенерацією фосфорного ангідрида. При цьому волога повинна повністю поглинатись ЧЕ, і електроліз води має бути повним. Для чого напруга на електродах має бути більшою 2 В (потенціал розкладу води близький до цієї величини), а сам датчик повинен мати довжину, що достатня для

поглинання з потоку газу всієї вологи. При дотриманні цих умов між обома процесами настає рівновага, і сила струму, що протікає через електроди, пропорційна добутку вологовмісту на витрату газу.

Психрометричний метод. Цей метод має широкий діапазон вимірювань, можливість роботи при підвищеній температурі і в умовах конденсації. До недоліків відноситься інерційність вимірювання, зволоження аналізуючого середовища в процесі експлуатації, менша в порівнянні з іншими методами точність вимірювання, необхідність регулярного обслуговування.

Широко розповсюджені психрометри типу ВІТ, аспіраційні психрометри типу М-34 та МВ-4, електронні психрометри фірми Quest-Tech (США).

### Висновки

1. Конденсаційні гігрометри застосовуються в нафтовій та газовій промисловостях, а також в кліматичних камерах (під час процесу сушки). Ємнісний та резистивний методи мають популярність по тій причині, що вимірюють вологу у рідких та сипучих матеріалах. Кулонометричний метод дозволяє вимірювати вологість при низьких значеннях вологості з властивою точністю, а також вимірювання вологості в різних газових сумішах. Психрометричний метод вимірювання вологості є найбільш розповсюдженим по тій причині, що він є надійним і стабільним при своїй не високій вартості.

2. Контроль рівня вологості є необхідним на багатьох підприємствах. Метод вимірювання вологості резистивним датчиком, в основному, залежить від вмісту вологи у неметалевому провіднику, завдяки цьому у провідника змінюється опір.

Ємнісні датчики вимірювання вологості є найбільш розповсюдженими у системах контролю фармацевтичної продукції, цей метод є дещо неточним при вологості менше 0,5%. Найефективнішим методом визначення вологості є розрахунок абсолютної та відносної вологості за температурою точки роси. Тому вимірюючи температуру точки роси ці датчики вологості забезпечують економічне, точне і гнучке вирішення широкого спектру питань промислового контролю.

3. Гігрометр на охолодженому дзеркалі – це вдосконалена «чаша роси». Вважається, що автоматичний гігрометр на охолоджуваному дзеркалі та безперервний контроль є одним з найбільш точних і надійних інструментів виміру вмісту водяної пари в газі. Також можна виділити те, що є різні способи реєстрації та вимірювання точки роси/інею. Вимірювання точки роси реалізується при температурі вище 0 °С. Головною перевагою гігрометрів на охолодженому дзеркалі є висока точність показів, широкий діапазон вимірювань та застосувань, жорстка конструкція та низька вартість.

4. Для області гігрометрії існує Державний первинний еталон відносної вологості, відносно до ГОСТ 8.547-86 «Державний первинний еталон і Державна повірочна схема для засобів вимірювання відносної вологості». В лабораторії Державних еталонів застосовується, гігрометрична установка, що входить до складу Державного первинного еталону одиниці молярної частки і масової концентрації компонентів у газовому середовищі ГЕТ 154-01. Метрологічні характеристики цієї установки затверджені міжнародними та внутрішньо державними зв'язками.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кузнецов В. А. Вимірювання в електроніці. К.: Енергоатом, 2018.
2. Коряків В. І. Прилади в системах контролю вологості твердих речовин і їх метрологічні характеристики. / В. І. Коряків, А. С. Запорожець. – К.: Десна, 2012.
3. Іванченко Ю. А. Чим вимірюється вологість? / Ю. А. Іванченко, А. А. Федоров. – К.: Промінь.
4. Богачук В. В. Методи та засоби вимірювального контролю вологості матеріалів. / В. В. Богачук. — В.: Лебідь, 2008.
5. Лесотехническая академия "Технопарк ЛТА". Измерение влажности древесины приборами GANN. – СПб, 2002.
6. Почтаренко Л. Д., Науменко А. М. Дослідження методів вимірювання вологості газів та метрологічне забезпечення гігрометрії // Системи озброєння і військова техніка. -2010.-№ 2 (22).- С. 213-214.
7. Фрайден Дж. Современные датчики. Справ. Пер. з англ. Техносфера, Москва, 2005, 590 с.
8. Мельников В. И., Лабутин С. А., Шаронов Д. А. Анализ ультразвуковых импульсных методов измерений влажности нефти // Датчики и системы. - 2006. - № 1.

Received (Надійшла) 21.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 07.04.2021

### Methods and principles of construction of measuring instruments humidity of the environment

Volodymyr Kononov, Helen Kononova, Volodymyr Oleksiuk

**Abstract.** Humidity control is necessary in many companies. The method of measuring the humidity of the resistive sensor mainly depends on the moisture content in the non-metallic conductor, due to which the resistance of the conductor changes. **The subject** of the article is the basic methods and principles of constructing instruments for measuring the humidity of the environment and their control. **The purpose** of the article is to substantiate the expediency of using moisture measuring instruments when operating equipment at various enterprises and in various industries. **The task** that is being solved is the substantiation of the methods and principles of measuring the humidity of the environment using pink methods and methods, which of the methods is the most common and which are the main disadvantages in hygrometry. **Conclusions:** of all the proposed methods, the most common methods for measuring humidity are a condensation hygrometer, used in the gas and oil industry, capacitive and resistive methods that measure moisture in liquids and bulk materials, the coulometric method allows you to measure moisture at low values, as well as psychrometers, which are the most common due to their stability at a low cost.

**Keywords:** humidity, moisture content, dew point, hygrometer.

С. А. Кудімов<sup>1</sup>, В. О. Табуненко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

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

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ БОЙОВОЇ ЖИВУЧОСТІ БРОНЬОВАНИХ КОЛІСНИХ МАШИН ПРИ ВИКОНАННІ ПІДРОЗДІЛАМИ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ ЗАВДАНЬ ЗА ПРИЗНАЧЕННЯМ

**Анотація.** В статті запропонована методика визначення рівня бойової живучості броньованих колісних машин при виконанні завдань за призначенням. Сутність запропонованої методики полягає в тому, щоб використовуючи отриману математичну модель оцінювання рівня бойової живучості броньованих колісних машин, керуючись розробленим алгоритмом, отримувати для різних зразків броньованих колісних машин значення коефіцієнта збереженості машин, як показника бойової живучості броньованих колісних машин. Методика визначення рівня бойової живучості броньованих колісних машин дозволяє визначити вплив на показник бойової живучості машин різних факторів та намітити шляхи забезпечення заданих вимог до розробки перспективних зразків броньованих автомобілів.

**Ключові слова:** броньовані колісні машини, бойові властивості, бойова живучість, надійність, показник бойової живучості, коефіцієнт збереженості.

### Вступ

Досвід військових конфліктів останніх років свідчить про те, що броньовані колісні машини відіграють важливу роль у вирішенні завдань, що виконуються підрозділами Національної гвардії України (НГУ) як при веденні бойових та стабілізаційних дій, так і при проведенні антитерористичних та спеціальних операцій. Бойова броньована колісна машина (БКМ), призначена для пересування піхоти і ведення бою, може використовуватися для зв'язку, ведення розвідки і виконання інших спеціальних завдань [1].

**Постановка проблеми.** Постійне вдосконалення і зростання потенціалу засобів ураження противника, що сприяє розширенню переліку завдань, покладених на БКМ, загострює проблему ефективності їх застосування і викликає необхідність підвищення не тільки їх захищеності, а і розширення функціональних можливостей.

Існуюче різноманіття зразків БКМ з різними тактико-технічними характеристиками суперечить сучасним інтегрованим принципам розвитку озброєння та військової техніки (ОВТ) і не забезпечує однорідності зразків по основним бойовим властивостям: рухливості і захищеності. Це в свою чергу негативно впливає на бойові можливості підрозділів, взаємодію сил та засобів в бою, маршові можливості, підготовку особового складу.

Крім того, ускладнюються питання планування, експлуатації, ремонту та оснащення технікою підрозділів. Зазначені обставини викликають необхідність приведення БКМ НГУ у відповідність зі зміненими завданнями і умовам ведення збройної боротьби. Виникає протиріччя між неможливістю подальшого підвищення ефективності бойового застосування БКМ шляхом вдосконалення тактико-технічних характеристик окремих типів і необхідністю підвищення ефективності бойового застосування БКМ шляхом раціонального розподілу завдань між машинами [2].

На сьогоднішній день БКМ оцінюються за трьома основними бойовими властивостями: вогнева міць, захищеність і рухливість. При цьому необхідно розуміти, що боездатним БКМ робить тільки оптимальне поєднання всіх цих властивостей. Історія знає чимало прикладів, коли машини, що мали колосальну вогневу міць і високий захист, але недостатню рухливість, програвали машинам більш рухливим, з більш слабкими озброєнням і захистом [3].

Саме по шляху вдосконалення основних бойових властивостей і створення їх оптимального поєднання йде подальший розвиток конструкцій БКМ – будь то створення нової машини або модернізація раніше випущеного зразка.

Однією з основних бойових властивостей БКМ є їх бойова живучість. Бойова живучість (БЖ) — здатність БКМ виконувати поставлене бойове завдання в умовах вогневої протидії супротивника (властивість БКМ зберігати обмежену боездатність в умовах зовнішніх дій, що призводять до відмов його складових частин).

Бойова живучість є антиподом уразливості і досягається використанням стійких до бойових ушкоджень елементів конструкції, систем і агрегатів, дублюванням і резервуванням життєво важливих систем, апаратури, боеприпасів і пального, забезпечення вибухо- і пожежобезпеки, захистом екіпажу і найбільш важливих агрегатів і систем БКМ.

Бойова живучість розглядається в безпосередньому зв'язку з типом і характеристиками діючого на БКМ засобу ураження. Бойова живучість характеризується площею ураження при влучанні боеприпасу контактної дії і ймовірністю неураження БКМ в зоні дії боеприпасу з неконтактним детонатором.

Бойова живучість стосовно до боеприпасу контактної дії визначається його калібром. Основними вимогами з бойової живучості БКМ є:

- необхідність наявності силової установки, трансмісії та ходової частини високої надійності;

- зниженням імовірності виявлення БКМ;
- зниженням ймовірності влучення в машину;
- здатністю машини нормально функціонувати після влучання в її окремі елементи куль калібру 7,62 і 12,7 мм та 20...23-мм осколково-фугасних снарядів;
- захист стінок ємностей пального;
- захист екіпажу БКМ [1].

Разом з сукупністю таких властивостей, як надійність, рухливість і рядом інших властивостей, бойова живучість формує бойову ефективність БКМ. Зазначені обставини підтверджують актуальність проведення досліджень, метою яких є вирішення наукової проблеми, яка полягає у вирішенні суперечності між досягнутим рівнем розвитку методологічних основ побудови БКМ і рівнем сучасних вимог до їх властивостей. Одним з етапів вирішення зазначеної проблеми є удосконалення методики визначення рівня бойової живучості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами НГУ завдань за призначенням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У воєнно-наукових дослідженнях, пов'язаних з оцінкою ефективності застосування бойових машин, їх бойові властивості досить широко використовуються в якості узагальнених показників ефективності. Однак єдиного розуміння структури, змісту і методів визначення даних показників до теперішнього часу немає. Практично кожен дослідник дає своє бачення характеристик зразка, які враховуються, і умов його функціонування [4, 5].

Основою наукових досліджень оцінювання бойової живучості броньованих колісних машин при виконанні завдань за призначенням є: теорія ефективності бойового застосування озброєння та військової техніки, експлуатація озброєння та військової техніки, теорія надійності озброєння та військової техніки, теорія ймовірностей та математична статистика [6-14]. Основні залежності, які використовуються при визначенні рівня ефективності використання машин, наведені в [6]. В [7-13] розглянуті властивості бойових машин. В [14-16] проведений аналіз технічних параметрів колісних машин, умов їх використання та показників надійності.

У наукових джерелах термін «бойова живучість», в тому числі, БКМ зустрічається в роботах [17,18]. Однак, до теперішнього часу показники та методика визначення рівня бойової живучості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами НГУ завдань за призначенням, в науковій літературі не наведені.

**Мета статті** - розробка методики визначення рівня бойової живучості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами НГУ завдань за призначенням.

### Виклад основного матеріалу

Методика визначення коефіцієнта збереженості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами НГУ завдань за призначенням дозволяє визначити рівень бойової живучості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами НГУ за-

вдань за призначенням, її зміни в процесі бойового застосування машин, планувати використання БКМ на певний момент часу та на визначений термін з метою забезпечення бойової живучості машин. В якості змінного параметра для визначення показника бойової живучості БКМ використовується значення часу експлуатації або пробігу машин від початку експлуатації.

Сутність запропонованої методики визначення коефіцієнта збереженості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами НГУ завдань за призначенням полягає в тому, щоб використовуючи отриману математичну модель оцінювання рівня бойової живучості броньованих колісних машин, керуючись розробленим алгоритмом, отримувати для різних зразків БКМ значення коефіцієнта збереженості машин  $K_{ЗБ}$ , як показника бойової живучості БКМ.

Для визначення значень  $K_{ЗБ}$  з метою оцінювання рівня бойової живучості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами НГУ завдань, використаємо методику визначення рівня бойової живучості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами НГУ завдань, схема якої представлена на рис. 1.

**Блок 1.** Вводяться вхідні дані [19]:

$$t(c), m(\kappa), H(m), L(m), a, b, g(m/c^2), N(Bm), n(1/c), M(n \cdot m), \eta, \phi, r(m), F(H), Cx, i, f, S(m).$$

**Блок 2.** Визначається період часу спостереження. Оцінювання рівня бойової живучості БКМ може відбуватися для певного етапу експлуатації, а планування використання зразків БКМ найбільш доцільно проводити на термін виконання конкретного завдання за призначенням.

**Блок 3.** Визначаються умови використання БКМ, при плануванні завдань, розглядаються дорожні, транспортні, атмосферно-кліматичні умови.

**Блок 4.** Визначається кількість експлуатаційних відмов машин під час виконання завдань:

$$n(t) = \sum_{i=1}^m n_i(t),$$

де:  $n_i$  – кількість відмов  $i$ -ої машини за час  $t$ ;  $m$  – загальна кількість машин.

**Блок 5.** Визначається сумарна інтенсивність відмов машини за формулою:

$$\lambda(t) = \frac{n}{(N-n)\Delta t},$$

де  $n$  – кількість машин в яких виникли відмови;  $N$  – загальна кількість машин;  $\Delta t$  – час виконання завдань за призначенням.

**Блок 6.** Визначається ймовірність безвідмовної роботи машин за формулою:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

**Блок 7.** Визначається коефіцієнт готовності машин:

$$K_T = T_O / (T_B + T_O),$$

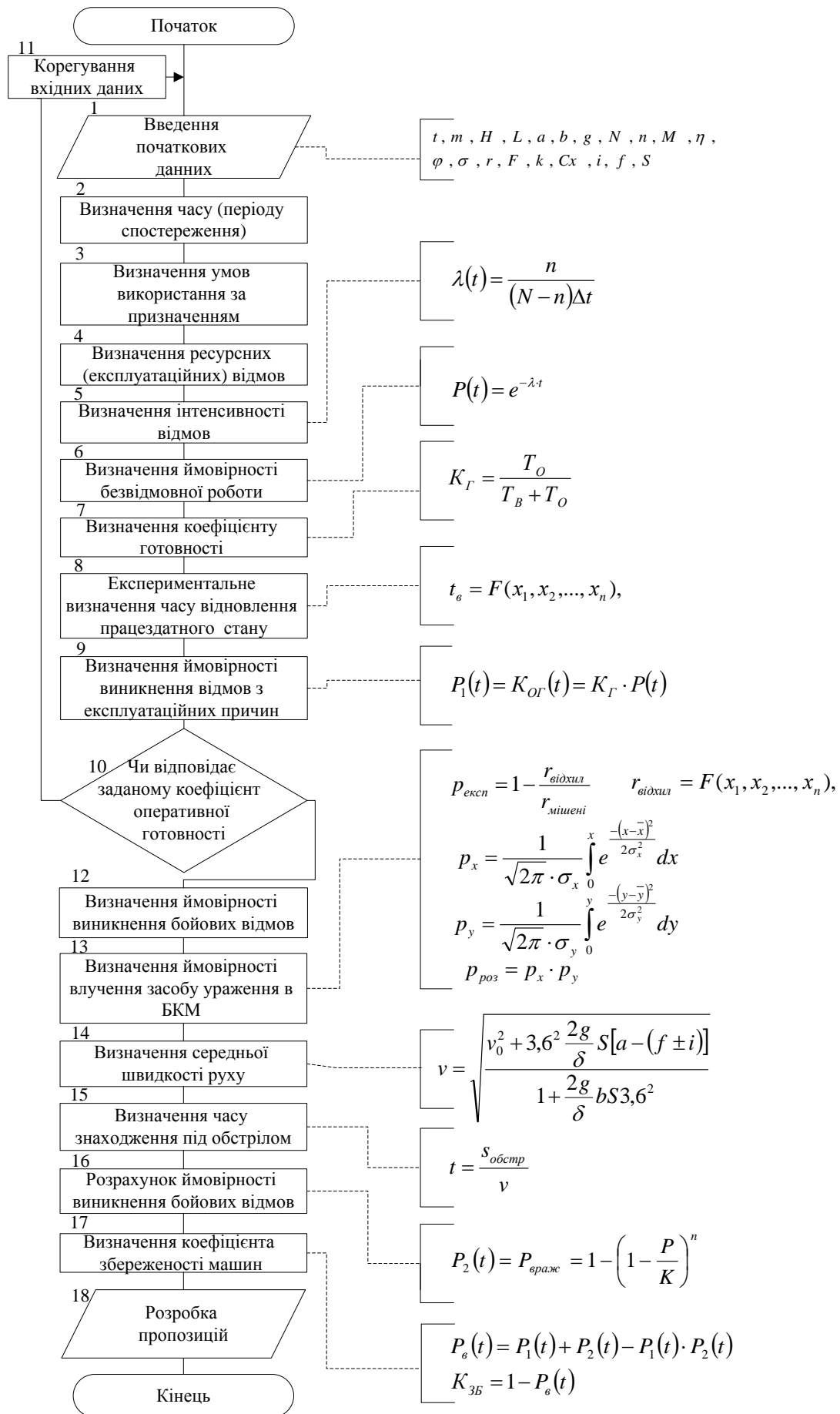


Рис. 1. Схема методики визначення коефіцієнта збереженості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами НГУ завдань за призначенням



де  $T_O$  – час напрацювання на відмову;  $T_B$  – середній час відновлення працездатного стану.

**Блок 8.** За результатами експериментальних досліджень отримуємо час відновлення  $t_e$  працездатного стану який буде визначатися функцією ряду змінних:

$$t_e = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – незалежні змінні факторного експерименту:  $x_1$  – наявність технічної документації на проведення ремонту (%);  $x_2$  – оснащення ремонтного підрозділу необхідним обладнанням (%);  $x_3$  – рівень кваліфікації фахівців ремонтного підрозділу (%).

**Блок 9.** Визначається ймовірність виникнення відмов з експлуатаційних причин  $P_1(t)$

$$P_1(t) = K_{OG}(t) = K_G \cdot P(t)$$

**Блок 10.** Порівняння отриманого та заданого коефіцієнтів оперативної готовності.

**Блок 11.** Проводиться корегування вхідних даних.

**Блок 12.** Визначається ймовірність виникнення бойових відмов.

**Блок 13.** Визначення ймовірності виникнення бойових відмов  $P_2(t)$  внаслідок влучання в БКМ засобу ураження.

**Блок 14.** Визначається середня швидкість руху машини  $v$

**Блок 15.** Визначається час знаходження БКМ під обстрілом  $t$

$$t = s_{обстр} / v$$

де  $s_{обстр}$  – довжина шляху руху БКМ в зоні дії засобу враження;

**Блок 16.** Розраховується ймовірність виникнення бойових відмов  $P_2(t)$ .

Визначається ймовірність влучення  $p$  засобу враження в БКМ за одним із способів:

а) експериментальним шляхом

$$P_{експ} = 1 - r_{відхил} / r_{мішені}$$

де  $r_{відхил}$  – відхилення точки влучення засобу враження від геометричного центру мішені (БКМ);

$$r_{відхил} = F(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – незалежні змінні факторного експерименту:  $x_1$  – відстань ведення вогневого враження по БКМ;  $x_2$  – швидкість руху БКМ;  $x_3$  – контрастність БКМ на фоні місцевості;  $x_4$  – рівень освітленості місцевості;  $r_{мішені}$  – геометричний параметр БКМ який визначатися функцією ряду змінних:

б) розрахунковим методом

$$p_x = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_x} \int_0^x \exp\left(-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}\right) dx;$$

$$p_y = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_y} \int_0^y \exp\left(-\frac{(y-\bar{y})^2}{2\sigma_y^2}\right) dy;$$

$$P_{роз} = P_x \cdot P_y,$$

де  $p_x, p_y$  – ймовірність влучання засобу враження в БКМ по висоті та бічному напрямку;  $\sigma_x, \sigma_y$  – середньоквадратичне відхилення координат точок влучення по висоті та бічному напрямку;  $\bar{x}, \bar{y}$  – математичне очікування координат влучення куль по висоті та бічному напрямку;  $x, y$  – висота та ширина цілі.

$$v = \sqrt{\left(v_0^2 + 3,6^2 \frac{2g}{\delta} S[a - (f \pm i)]\right) / \left(1 + \frac{2g}{\delta} bS3,6^2\right)}$$

де  $v_0$  – початкова швидкість БКМ(м/с);  $g$  – прискорення вільного падіння (м/с<sup>2</sup>);  $\delta$  – коефіцієнт врахування мас, що обертаються;  $a, b$  – постійні коефіцієнти, що визначають криву динамічної характеристики машини;  $S$  – відрізок шляху(м);  $f$  – коефіцієнт опору коченню коліс;  $i$  – уклін дороги.

$$P_2(t) = P_{вращ} = 1 - (1 - P/K)^n$$

де  $P$  – ймовірність влучання засобу враження в БКМ;  $K$  – кількість влучень необхідних для виведення БКМ з працездатного стану (знищення);  $n$  – кількість пострілів.

**Блок 17.** Визначається коефіцієнт збереженості машин за виразами:

$$P_e(t) = P_1(t) + P_2(t) - P_1(t) \cdot P_2(t)$$

$$K_{ЗБ} = 1 - P_e(t)$$

**Блок 18.** Розробка пропозицій по підвищенню рівня бойової живучості БКМ на період виконання СБЗ на основі отриманих розрахунків.

Керуючись даною методикою можна визначити  $K_{ЗБ}$  на етапі планування використання БКМ до впливів та визначити ймовірність безвідмовної роботи на час виконання СБЗ.

## Висновки

1. Запропонована методика визначення рівня бойової живучості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами НГУ завдань за призначенням, яка дозволяє, за допомогою наведених математичних залежностей, визначити значення показника бойової живучості БКМ.

2. Методика визначення рівня бойової живучості броньованих колісних машин при виконанні підрозділами Національної гвардії України завдань за призначенням дозволяє визначити вплив на показник бойової живучості броньованих колісних машин експлуатаційних факторів та намітити шляхи забезпечення заданих вимог до сучасних зразків броньованих машин Національної гвардії України.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тимошенко Р.І. Оновлення парку озброєння та військової техніки – шлях до боєздатності Збройних Сил України/ Р. І. Тимошенко // Збірник наукових праць Центру військово-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського. – 2016. – №4. – С. 6–11.
2. Чепков І.Б. Загальні тенденції розвитку озброєння та військової техніки / І. Б. Чепков, П. І. Нор // Озброєння та військова техніка. – 2014. – №1. – С. 4–13.
3. Попов Б.И. Эволюция транспортного обеспечения в армии / Б.И. Попов // Гуманитарный вестник. – 2014. – № 4 (31). - С.129–137.
4. Демидов Б.А. Системно-концептуальные основы деятельности в военно-технической области / Б.А. Демидов, А.Ф. Величко, И.В. Волощук: Кн. 1. Концептуальные основы и элементы национальной безопасности / под ред. Б.А. Демидова. – Киев, 2004. – 736 с.
5. Бонин Л.С. Боевые свойства и эффективность вооружения и военной техники/ В.А Дидусев, С.В Дмитриев // Военная мысль – 2005. – № 1. – С. 65-68.
6. Дем'янюк Б.О. Основи технічного забезпечення. Обґрунтування рішень / Б.О. Дем'янюк, О.В. Малишкін/ – Одеса: МО України, - 2014.- 208 с.
7. Хитрик В. Система озброєнь Сухопутних військ / В. Хитрик, Л. Ленський // Військо України. –1996. – № 5- 6. – С. 18-21.
8. Барятинский М. Какая БМП нам нужна? / М. Барятинский // Военно-промышленный курьер. – 2012. – № 15(432). – С. 7.
9. Защита танков / [В.А. Григорян, Е.Г. Юдин, И.И. Терехин и др.]; под ред. В.А. Григоряна. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 327 с.
10. Сергеев В. Еще раз о концепции современной БМП / В. Сергеев // Техника и вооружение. – 2004. – № 1. – С. 8-17.
11. Пастернак Г. Развитие БМП в 1970-1980 гг. / Г.Пастернак // Техника и вооружение. – 2009. – № 1. – С. 23-34.
12. Jürgen Uchtmann. Neue Gepanzerte Plattform für die Panzergrenadiertruppe Konzeptionelle Forderungen / Soldat und Technik. – 2000. – Nr 5. – S. 291-296.
13. Крижний А.В. Особливості застосування бойових машин легкої категорії ваги в сучасних збройних конфліктах / А.В. Крижний, В.М. Зіркевич// Наука і оборона. – К.:МОУ, 2005. –№3. – С.45-47.
14. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення.
15. Ковтун А.В. Основи надійності автомобільної техніки.-Харків: АВВ, - 2013.-145 с.
16. Табуненко В.О., Марценяк О.П. Метод визначення ефективності використання автомобільної техніки підрозділами НГУ при патрулюванні в умовах воєнного стану. –Харків: ХНУПС, Системи озброєння і військова техніка, 1(57) 2019. – С.135–139. (DOI: 10.30748/soivt.2019/57.19)
17. Растопшин М. Неудовлетворительная эффективность советского наследства / М. Растопшин // Независимое военное обозрение. – 2010. – № 1. – С. 8-9.
18. Смирнов А. А. Научный симпозиум, посвященный проектированию полноприводных колесных машин //Вестник Московского государственного технического университета им. НЭ Баумана. Серия «Машиностроение». – 2005. – №. 3.
19. Подригало, М.А. Забезпечення стійкості повнопривідних автомобілів проти заносу на дорозі з низьким коефіцієнтом зчеплення коліс з дорогою./ М.А. Подригало, Р.О. Кайдалов, О.В. Літвінов, С.А. Кудімов //Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. – 2019. – Вип. 198 – С.137 – 148.

Received (Надійшла) 20.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.03.2021

### Method of determining the safety coefficient of armored wheeled vehicles when performed by units of the National Guard of Ukraine

Serhii Kudimov, Volodymyr Tabunenko

**Abstract.** The article proposes a method of determining the safety factor of armored wheeled vehicles when performing tasks on purpose. Armored wheeled vehicles are designed to move infantry and combat, reconnaissance and other special tasks. The growth of the potential of the enemy's means of destruction affects the effectiveness of the use of armored wheeled vehicles, which necessitates not only increasing their security, but also expanding their functionality. One of the main combat properties of armored wheeled vehicles is their combat survivability, which is achieved by using resistant to combat damage structural elements, systems and units, duplication and redundancy of vital systems, equipment, ammunition and fuel, explosion and fire safety, crew protection and most important units and systems. Combat survivability forms the combat effectiveness of a sample of weapons and military equipment. The purpose of the article is to develop a method for determining the level of combat survivability of armored wheeled vehicles when performing tasks on purpose. The essence of the proposed method for determining the level of combat survivability of armored wheeled vehicles is that using the obtained mathematical model for estimating the level of combat survivability of armored wheeled vehicles, guided by the developed algorithm, to obtain for different samples of armored wheeled vehicles. The proposed method of determining the level of combat survivability of armored wheeled vehicles when performing tasks on purpose, allows, using the above mathematical dependences, to determine the value of the combat survivability of armored wheeled vehicles. The method of assessing the level of combat survivability of armored wheeled vehicles allows to determine the impact on the combat survivability of vehicles of various factors and to identify ways to ensure the specified requirements for the development of promising models of armored vehicles.

**Keywords:** armored wheeled vehicles, combat properties, combat survivability, reliability, indicator of combat survivability, survival rate.

В. О. Мартовицький<sup>1</sup>, Д. О. Даниленко<sup>1</sup>, С. А. Лукашов<sup>1</sup>, Д. М. Росінський<sup>1</sup>, В. М. Сухотеплий<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

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

## МЕТОД ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРИ ВІДБОРІ (РЕКРУТИНГУ) ПЕРСОНАЛУ НА ОСНОВІ НЕЧІТКИХ КОГНІТИВНИХ КАРТ

**Анотація.** В статті охарактеризовано основні етапи при відборі кандидатів із сфери ІТ до персоналу сучасних компаній розробки та підтримки програмних засобів. Предметом дослідження є теоретичні та прикладні аспекти автоматизації етапу відбору персоналу методом когнітивного аналізу на основі нечітких когнітивних карт. Об'єктом дослідження є етап відбору у про-цесі рекрутингу та найму для задоволення потреби підприємств у необхідному персоналі. Доведено необхідність та узагальнено вимоги до формування нечіткої когнітивної карти компетенцій як інструменту відбору персоналу за допомогою якісних та кількісних суб'єктивних оцінок. Розроблено алгоритм відбору кандидата на основі аналізу даних про нього, його відповідей на співбесідах, тощо. Цей метод може бути також використаний у багатьох інших завданнях, пов'язаних із відбором кандидатів. Надано практичні рекомендації щодо організації процедури відбору кандидатів за допомогою бази правил та типу взаємозв'язків між найважливішими критеріями.

**Ключові слова:** аутсорс, автоматизація відбору персоналу, список компетенцій, нечіткі когнітивні карти Коско, відбір кандидатів.

### Вступ

У сучасному світі постійного технологічного прогресу проблема автоматизації процесів відбору персоналу стає все більш актуальною. Персонал безсумнівно вважається одним із основних ресурсів будь-якого успішного підприємства, важливий фактор при вирішенні стратегічних проблем розвитку, який сприяє підвищенню конкурентоспроможності і зниженню витрат ресурсів. Саме тому автоматизація процесу відбору кандидатів на посаду є важливим завданням, яке широко досліджується останні декілька років [1-4].

Велика кількість даних про кандидатів на етапах рекрутингу та відбору (резюме, відгуки, оцінки тестів, звіти та статистика) змушує шукати зручні та перспективні засоби для збирання, збереження, та аналізу. У той же час, новітні методи мають запропонувати щось більше ніж просто сховище даних. В результаті маємо набір інформації, занадто великий та складний для розуміння, щоб виконувати аналіз. Саме тут у пригоді стають системи підтримки прийняття рішень. Їх застосування надає можливість використовувати обчислювальні потужності комп'ютерів для виконання обробки, аналізу і прогнозування даних в режимі реального часу, для допомоги у прийнятті рішень.

Відбір одного із кандидатів на конкретну позицію – це завжди нетривіальна задача та окремий проєкт, бо фактори та пріоритети різних компаній до претендентів на посаду будуть відрізнятися. Спорідненим до попереднього завданням, для вирішення якого можна використати системи підтримки прийняття рішень вважаються пошук та відбір персоналу для аутсорсу та аутстафу.

Використання популярних неавтоматизованих методів відбору потребують багато людських та часових ресурсів, пошуку, обробки та аналізу великої кількості інформації. Усе це ускладнює прийняття рішень на рівні роботи із персоналом в організації.

Застосування нових підходів при розгляді слабко-структурованих систем, та сучасних комп'ютерів із вищою обчислювальною потужністю може полегшити виконання складних розрахунків, обробку, аналіз даних, прийняття рішень і прогнозування подій у режимі реального часу.

Наслідки, спричинені старими неефективними способами відбору кадрів, можуть негативно вплинути не тільки на загальну ефективність діяльності підприємства, але і на соціально-психологічний клімат колективу, його конкурентоспроможність та спричинити значні втрати людських, часових та грошових ресурсів.

### Постановка проблеми

Через надзвичайну актуальність завдання відбору на посаду найкращого з кандидатів постійно зростає кількість методів для його успішного вирішення: розроблюються нові тести для оцінки професійних навичок, здібностей, мислення, логіки, незмірних особливостей (гнучкі навички). Відповідно до збільшення кількості підходів збільшується і кількість даних для аналізу, що у свою чергу ускладнює будь-яку систему. Ці факти зумовлюють проводити пошук таких нових технічних та математичних нововведень, які могли б задовольнити вищезазначені потреби та допомагати у прийнятті рішення, не втративши прозорості процесу.

В сучасному українському бізнес-просторі розглядаються усі питання роботи із персоналом, усі можливі способи покращення та спрощення процесів технічними засобами. Переважно розробка нового інструментарію надихається або запозичується у досвідчених сусідніх країн, де подібні програмні засоби вже довели свою користь.

Так популярна система ATS (Applicant Tracking System) автоматизує процес рекрутингу на етапі знаходження кандидатів, використовується у багатьох розроблених в Україні засобів для роботи з персоналом [5].

Наприклад, додаток «E-Staff Рекрутер» реалізує зручний метод пошуку і ведення бази кандидатів, інтеграцію із сайтами з пошуку роботи, та здатен виконувати просту аналітику через швидку генерацію звітів та статистики [6]. Можемо бачити, що блоку підтримки прийняття рішення при відборі на посаду тут не представлено.

Для порівняння, візьмо ще одну відому українську систему «HURMA» (HRIS/HRM-система) для автоматизації усіх HR-процесів [7]. В ньому є інструментарій для опитувань, рекрутингу, збирання статистики та загальної аналітики співробітників, відстеження прогресу до цілей та бази кандидатів. Але навіть тут немає блоку, який би допомагав вирішувати задачу відбору одного із претендентів на посаду.

Таким чином, можна зробити висновок, що в Україні є проблеми із пошуком та розробкою методів автоматизації відбіркового процесу, що можна пояснити не тривіальністю задачі, адже керівники та працівники кадрових служб у більшості випадків інтуїтивно приймають рішення щодо відбору працівника. Досвід введення автоматизованих рішень раніше не приніс значних покращень, а подальші дослідження виявляли, що в окремих випадках, вони навіть призводили до помилкових результатів.

### Мета та завдання

Метою дослідження є вивчення вже відомих способів відбору претендентів, а також обґрунтування методу і алгоритму побудови системи підтримки прийняття рішень на основі когнітивного моделювання та нечітких когнітивних карт, їх застосування у різних випадках відбору кандидатів на вакантну посаду.

Завдання дослідження. Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких основних завдань:

- проаналізувати популярні методи прийняття рішень про відбір одного кандидата із множини претендентів, які використовуються представниками HR та керівниками сучасних підприємств;
- обґрунтувати використання нечітких когнітивних карт, та когнітивного моделювання для системи підтримки прийняття рішень;
- описати основні методи визначення ключових факторів компетенцій, за якими відбувається відбір;
- розробити алгоритм прийняття рішення про вибір кандидата на вакантну посаду.

Предметом дослідження є теоретичні та прикладні аспекти автоматизації етапу відбору персоналу методом когнітивного аналізу на основі нечітких когнітивних карт.

Об'єктом дослідження є етап відбору у процесі рекрутингу та найму для задоволення потреби підприємств у необхідному персоналі.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Огляд широкодоступних літературних джерел з питань управління персоналом, його рекрутингу та проведення процесу відбору, дає змогу стверджувати, що поставлена проблема досі залишається у ста-

ні розвитку і потребує нових ідей. Варто також зазначити, що більшість авторів розглядає відбір персоналу не як окремий важливий етап, а лише як незначну частину процесу найму, що можливо і є одною із причин малої кількості досліджень на цю тему.

Серед наявних джерел можна виділити публікацію Н. Казаринової, в якій визначається модель обчислення відповідності кандидата вимогам вакантної посади. Цікаві ідеї про визначення основних критеріїв оцінки претендентів було висловлено в роботі Т. Білорус. Серед останніх досліджень присвячених класифікації методів відбору, які використовуються підприємствами варто відзначити наукову статтю К. Павленко та В. Шульгіної а також роботу Ю. Маняка. Вагомий внесок в розробку ідеї використання нечіткої логіки для підтримки прийняття рішення про призначення на посаду зробили такі автори як Н. Кондратенко, С. Лужецький, О. Чеборака. Добре описані напрями застосування математичних методів та моделей для відбору у публікації К. Котлярєвської. Загальний теоретичний курс про технологію нечіткого моделювання процесів управління, нечіткі системи та бази нечітких знань має місце у навчальній літературі вітчизняного автора А. Каргіна.

### Методологія дослідження

Для проведення досліджень за темою роботи використовувалися пошук, огляд, опрацювання та аналіз наукових робіт, статей, тез, методичних посібників та інших джерел у відкритому доступі. Після детального ознайомлення та аналізу останніх публікацій про вирішення проблем в області відбору персоналу, порівняння позитивних та негативних сторін, були взяті до уваги наукові концепції, ідеї та напрямки, які наразі вважаються найбільш перспективними або які ще не використовувалися для вирішення даної проблеми – це і стало методологічною основою досліджень. Для вирішення поставлених завдань було використано різноманітні наукові прийоми.

Із загальнонаукових методів емпіричною базою дослідження виступили анкетування, проведене серед представників менеджменту та HR, електронні документи (постанови Кабінету Міністрів України), а теоретичною базою - інтернет-ресурси для пошуку даних про основні етапи процесу відбору, відомі реалізації на сьогоднішній день, їх аналіз та синтез, абстракція та аналогія. За принципом відповідності, на основі отриманої інформації висувалися гіпотези про варіанти вирішення проблеми.

Теоретичний рівень представлений методом спостереження (власний досвід учасника-кандидата у процесі відбору), порівняння (сучасні методи відбору персоналу порівнювалися між собою), абстрагування (розгляд етапу вибірки окремо від процесу рекрутингу на посаду), математичною формалізацією методу визначення підходящого кандидата через нечітку логіку та нечіткі когнітивні карти. Виведення гіпотези про вирішення завдання було зроблено завдяки методу індукції.

Для вирішення завдання, досліджуються системи із зв'язками, які приводяться до одного виду, що характеризуються як безперервністю та детермінованістю, так і випадковістю, тому можна також казати про використання системних методів (дослідження операцій найму, теорія менеджменту персоналу в цілому та рекрутингу окремо, теорія нечітких множин тощо). За принципом детермінізму були розроблені бази правил для виведення значення взаємопов'язаних факторів.

Для доведення гіпотези використовувався експеримент із уявним моделюванням процесу відбору кандидата на посаду розробника Java-Junior у ІТ-компанію зі збором інформації про методи та етапи, спостереження явища, його аналізу, вироблення гіпотези та розробки алгоритму під гіпотезу.

Труднощі у первинних дослідженнях пов'язані з обмеженим доступом до інформації про досвід конкретних фірм та підприємств, що зумовлено її конфіденційним характером.

### Аналіз підходів до підбору персоналу на посаду

Не можна не погодитися із тим, що персонал є одним із основних ресурсів будь-якого успішного підприємства, необхідним для досягнення стратегічних цілей та розвитку, тому проблема автоматизації процесів його відбору для вільної вакансії зараз є досить актуальною. На сьогоднішній день також незаперечна вигода залучення тимчасових співробітників. Тимчасовий персонал - це штат працівників, який набирається під певний проект з терміном роботи від доби до 6 чи більше місяців, в залежності від тривалості проекту або обов'язків. Користю від їх найму є спрощені юридичне оформлення та схема припинення трудового договору з невідповідним співробітником, звільнення компанії від великої кількості платежів, пов'язаних з утриманням постійного співробітника, можливість делегування певної частини складних функцій, а значить регулювання робочого навантаження, а також зниження адміністративних і бухгалтерських витрат. Тимчасовий набір персоналу, крім своєї основної мети - забезпечення організації людьми на певний період, може бути прекрасним способом перевірки тимчасово найнятих працівників з метою можливого продовження співпраці з ними на довгостроковій основі.

Під слабкоструктурованою системою розуміється така динамічна система, в структурі і функціонуванні якої важливу роль відіграє людський чинник, для різних проявів якого практично неможливо побудувати точні математичні моделі. Однією з причин також є недолік інформації про стан системи в умовах зовнішнього середовища. Також можна виділити невизначеність цілей розвитку системи, що ускладнює вибір управлінського рішення. Інша складність може бути пов'язана з тим, що суб'єктові управління доводиться маніпулювати якісною інформацією у вигляді припущень, інтуїтивних понять, суб'єктивних моделей, які засновані на експертній інформації [8].

Численні дослідження процесів прийняття рішень підтверджують, що суб'єктові управління не

властиво мислити і приймати рішення тільки в кількісних характеристиках. Експерт, як людина, мислить, перш за все, якісно, і для нього пошук рішення - це, пошук образної суті рішення, де кількісні оцінки грають допоміжну роль. Тому структури знання в мисленні, виявляються найважливішими елементами ситуації, неусувними з моделі прийняття рішень.

З вищенаведеного випливає, що прийняття рішень у слабкоструктурованих системах - це інтелектуальний процес вирішення проблем, який має бути заснованим на раціональному виборі варіанту рішення [9], який запропонований людиною або групою людей, тому має враховувати суб'єктивні якісні та кількісні фактори та великі обсяги даних для автоматичної обробки, ось чому для таких завдань використовують системи підтримки прийняття рішень.

Система підтримки прийняття рішень (СППР) є інтерактивною системою, яка забезпечує користувачу доступ до моделей і даних для того, щоб підтримати складний процес прийняття рішень стосовно слабо структурованих і неструктурованих завдань [10].

Основні переваги створення СППР:

- розробка одного інструментального засобу для вирішення багатьох нестандартних завдань з різних галузей управління;
- в процесі експлуатації інформаційних систем управління відбувається і самонавчання системи з поповненням бази знань;
- особливо суттєвий ефект можна очікувати при вирішенні таких завдань, для яких відсутній точний алгоритм розрахунку значень керуючих впливів;
- гнучкість при вирішенні задач шляхом комбінування готових і апробованих управлінських рішень.

На теперішній час, з розвитком методів штучного інтелекту і, що головне, із створенням технічних засобів, які мають високу обчислювальну продуктивність та здатність опрацювати великі об'єми інформації за певний час, зростає інтерес включення до складу СППР когнітивних технологій. Когнітивні технології добре зарекомендували себе у вирішенні задач прогнозу ситуацій, оскільки здатні відображати складові частини системи та зв'язки між ними, однак, на жаль, майже не застосовуються у багатьох сферах діяльності, які потребують покращення вже за рахунок як людських ресурсів так і допоміжних комп'ютерних систем, наприклад, подібні рішення могли б використовуватися для покращення підбору персоналу у фірму або на аутсорс.

Когнітивні методи використовуються в різноманітних сферах суспільного життя [11, 12]. Даний напрямок є перспективним та таким, що швидко розвивається та вдосконалюється, чому сприяє зростання обчислювальної потужності сучасних комп'ютерних засобів. Це свідчить про те, що доцільно розглянути можливість використання когнітивних технологій при вирішенні різноманітних завдань прийняття рішень в слабо структурованих системах, які часто виникають на підприємствах та фірмах.

До традиційних розповсюджених методів оцінки претендентів відносять: оцінку резюме, анкетування, телефонну співбесіду, тестування, професійні співбесіди, використання послуг центрів оцінки кандидатів. Якщо на цьому етапі будуть використовуватися одночасно декілька подібних інструментів для оцінювання – це може зробити висновок більш аргументованим. Ось чому при розробці нового методу було вирішено поєднати найпопулярніші класичні методи.

До нетрадиційних методів оцінки претендентів відносять комп'ютерну діагностику, оцінку здібностей за силою голосу або відбитками пальців, графологію, проходження детектора брехні, брейншторм-інтерв'ю, тести на визначення IQ та ін. Мінусами цих методів є не співпадіння висновків із реальністю та неможливість винесення виваженого вердикту орієнтуючись тільки або в основному на них.

Одним з доволі ефективних сучасних методів відбору персоналу за допомогою багатокритеріального аналізу є метод так званої «ідеальної точки» або «ідеального кандидата», в його основу покладений розрахунок відстані у багатомірному просторі критеріїв між точкою, що відповідає ідеальній альтернативі, та точкою, що відповідає альтернативі, яка досліджується в конкретному випадку. Ідеальною вважається така альтернатива, яка має найкраще значення всіх критеріїв. Приклад методу «ідеального кандидата» можна знайти за посиланням [13], в ньому вирішується задача відбору кандидата на посаду адміністратора готельного комплексу «Гранд Адмірал Клуб».

Перевагами цього методу є:

- легкість розробки та введення.

Недоліками цього методу є:

- не враховується комплексність вибраних критеріїв, тобто, що на них можуть впливати інші;
- Суб'єктивна неорганізована думка менеджерів та керівників при оцінці всіх критеріїв, немає стабільної бази правил;

Ще один метод базується на розрахунку коефіцієнту відповідності профіля кандидата профілю вакантної посади (переліку вимог до відкритої вакансії), за яким формується список кандидатів на вакантні посади.

Перевагами цього методу є:

- легкість розробки та введення.

Недоліками цього методу є:

- обмеженість оцінки тієї чи іншої навички двома значеннями: «нуль балів» та «один бал»;
- врахування лише декількох, визначених в роботі критеріїв(досвід роботи, рівень освіти, рівень володіння англійською мовою, можливість працювати у команді та у стислі терміни);
- не враховується комплексність вибраних критеріїв, тобто, що на них можуть впливати інші;
- суб'єктивна неорганізована думка менеджерів та керівників при оцінці всіх критеріїв;

Завдяки проведеному анкетному опитуванню серед представників HR та його аналізу можна побачити, що найчастіше в харківських компаніях використовується метод ранжування. Було опита більше 20 HR-менеджерів різних ІТ-компаній Харкова. Результати опитування представлено на рис. 1.

Його суть у порівнянні оцінюваних співробітників між собою і розташуванні їх за обраним критерієм в порядку зниження або зростання рангу та порівнянні з портретом «ідеального кандидату». Автоматизація на цьому етапі представлена тільки в тому, що дані претендентів зберігаються та переглядаються в електронному додатку. Рідше звертаються до методу функціональної оцінки керівника – тобто його суб'єктивного аналізу відповідності співробітника своїм посадовим обов'язкам.

Якщо йдеться про претендентів, які проходять випробувальний термін, або студентів на стажуванні, то може застосовуватися метод комплексної оцінки праці у часі. Суть у визначенні сукупності показників якості, складності та результативності праці та порівнянні з попереднім періодом або нормативом за допомогою застосування вагових коефіцієнтів.

Його суть у порівнянні оцінюваних співробітників між собою і розташуванні їх за обраним критерієм в порядку зниження або зростання рангу та порівнянні з портретом «ідеального кандидату». Автоматизація на цьому етапі представлена тільки в тому, що дані претендентів зберігаються та переглядаються в електронному додатку.

Рідше звертаються до методу функціональної оцінки керівника – тобто його суб'єктивного аналізу відповідності співробітника своїм посадовим обов'язкам.

Якщо йдеться про претендентів, які проходять випробувальний термін, або студентів на стажуванні, то може застосовуватися метод комплексної оцінки праці у часі. Суть у визначенні сукупності показників якості, складності та результативності праці та порівнянні з попереднім періодом або нормативом за допомогою застосування вагових коефіцієнтів.



Рис. 1. Результати анкетування HR-менеджерів

Основна складність, яка виникає при використанні вищезгаданих методів, полягає в тому, що аналітичний опис або статистичне спостереження залежності між вхідними та вихідними параметрами є досить складними, тому доводиться вдаватися до суб'єктивних моделей експертної оцінки, які вибудовуються людською логікою, аналогією із власного досвіду, «здоровим глуздом» та інтуїцією.

Немає сумнівів, що для кращого підбору персоналу треба враховувати велику кількість чинників, які є індивідуальними для кожної окремої ситуації. Із великої кількості подібних чинників компанія, що бажає використовувати аутсорс, має відібрати найважливіші, що найбільше впливають на отримання найкращого результату. Нескладно зрозуміти, що річ іде про велику кількість даних для обробки та аналізу, тому тут очевидно не обійтися без використання систем підтримки прийняття рішень, які спеціально налаштовані на подібну роботу. Ось чому зручними інструментами для оцінювання рівня впливу деяких параметрів на ситуацію, що досліджується, може стати когнітивна карта та когнітивне моделювання ситуації. Чому обидва ці поняття? Когнітивна карта відображає лише факт наявності впливів факторів один на одного. У ній не відображається ні детальний характер цих впливів, ні динаміка зміни впливів в залежності від зміни ситуації, ні тимчасові зміни самих факторів. Облік всіх цих обставин вимагає переходу на наступний рівень структуризації – до когнітивної моделі.

Когнітивна карта дає змогу наочно (за допомогою зручного графічного відображення) показати і в той же час комплексно оцінити ситуацію, що досліджується, визначити причинно-наслідкові зв'язки між параметрами системи, а також їх вплив на ситуацію в цілому.

Науковим напрямком, що лежить в основі дослідження задач, які характеризуються слабкою структурою та зв'язками, що описуються суб'єктивними незліченними поняттями, є методологія когнітивного аналізу. Найбільш ефективним інструментом цього аналізу є нечіткі когнітивні карти, бо вони добре зарекомендували себе при розгляді слабкоструктурованих систем із великою кількістю чинників. В основі карти лежить знаковий функціональний граф. Фактори та зв'язки між ними можуть бути як кількісними, так і якісними змінними. Вплив факторів одне на одного визначається вагою і знаком їх взаємозв'язків.

Для моделювання та побудови сценаріїв такого класу складних систем застосовується методологія когнітивного моделювання, що спирається на пізнання, мислення, розуміння, сприйняття та інші аспекти когнітивної діяльності людини.

На сьогодні зроблено декілька різновидів когнітивних карт. Кожен з різновидів відрізняється процедурою початкового визначення структури та підходами до їх аналізу. Серед них:

- традиційні когнітивні карти;
- знакові когнітивні карти;
- нечіткі когнітивні карти;

Класична когнітивна карта являє собою знаковий орієнтований граф:

$$G = \{V, E\}, \quad (1)$$

де  $V = \{v_i \in V, i = 1, 2, \dots, k\}$  – вершини когнітивної карти, представлені у вигляді безлічі чинників, цілей або подій;

$E = \{e_i \in V, i = 1, 2, \dots, k\}$  – дуги когнітивної карти, безліч відносин, що показують вплив факторів, цілей або подій одне на одного.

Такі карти сприяють ефективному поданню знань та їх подальшій діагностиці. Прикладами успішної реалізації цього методу можна назвати використання когнітивних карт як засобу аналізу параметрів, що впливають на формування підсумкової оцінки у студентів вищого навчального закладу під час використання дистанційної складової в освітньому процесі університету.

Виділяють карту-шлях, що є послідовністю зв'язків між об'єктами певного маршруту, і карту-огляд, що є одночасним представленням просторового розташування об'єктів. Для такої задачі, як вибір найліпшого кандидата більше підійшла би саме карта-огляд, адже рішенням, запропонованим у даній роботі є огляд на всі важливі чинники ситуації, але для задач із складною структурою взаємозв'язків треба шукати більш гнучкі та складні рішення.

Знакові когнітивні карти визначаються як орієнтований зважений граф. Їх призначення - представити модельовану систему, як сукупність концептів, кожному з яких відповідає модельована змінна. Змінні пов'язані відношеннями, що визначаються ребрами графа. Різниця лиш у тому, що дані зв'язки можуть бути як додатними, так і від'ємними, і описують вплив між концептами. Знакові карти представлені концептами, що мають якісну природу, і відповідають зростанню, спаданню або сталості числової характеристики, що характеризує даний параметр системи.

При аналізі стійкості знакових когнітивних карт використовується традиційний підхід аналізу лінійних систем. Даний підхід побудований на співставленні кількох контурів з вершинами у концептах карти. Проте такий аналіз не припускає виявлення характерних взаємних впливів концептів і розмістити їх у порядку спадання ступеню впливу на позитивні і негативні сценарії перебігу ситуацій.

Також даний тип когнітивних карт має обмежений алфавіт, що обмежує його можливості щодо репрезентації взаємозв'язків між вершинами і не дозволяє відслідковувати особливості процесів, що мають кількісну природу.

Слабкі сторони знакових когнітивних карт зумовили розвиток набору їх модифікацій, які значно збагачують їх можливості щодо проведення кількісного аналізу складних систем

Найбільш відомий тип нечітких когнітивних карт було запропоновано Коско [14], вони отримали назву нечітких когнітивних карт (Fuzzy Cognitive



Maps). Цей термін напряму пов'язаний із визначенням нечіткої множини.

Чітке визначення поняттю нечіткої множини дав всесвітньо відомий математик Лотфі Заде. Нехай  $X$  - універсальна (базова) множина,  $x$  - елемент  $X$ , а  $R$  - деяка властивість. Звичайна (чітка) підмножина  $A$  універсальної множини  $X$ , елементи якого задовольняють властивості  $R$ , визначається як множина впорядкованих пар

$$A = \mu Ax / x, \quad (2)$$

де  $\mu Ax$  - характеристична функція приналежності (або просто функція приналежності), що приймає значення в деякій цілком впорядкованій множині  $M = 0; 1$ . Функція приналежності вказує ступінь (або рівень) приналежності елемента  $x$  підмножині  $A$ . Множину  $M$  називають множиною приналежностей. Якщо  $M = 0; 1$ , то нечітке підмножина  $A$  може розглядатися як звичайна або чітка множина. Ступінь приналежності  $\mu Ax \in$  суб'єктивною мірою того, наскільки елемент  $x \in X$ , відповідає поняттю, сенс якого формалізується нечіткою множиною  $A$ .

Подібна математична структура дозволяє формалізувати суто суб'єктивну думку людини, сформовану в умовах неповної інформації щодо приналежності елемента до деякої групи. До таких структур можна, наприклад, віднести деяку підмножину людей-брюнетів в заданій множині людей із темним волоссям або нечітку підмножину темно-синіх кольорів в безлічі офіційних кольорів палітри і таке інше.

Переваги:

- дає можливість оперувати неповно визначеними елементами, відношення яких до даної множини не зовсім впорядковане;
- дає можливість проведення швидкого моделювання складних динамічних систем і їхнього порівняльного аналізу із заданим ступенем точності: завдяки принципам поведінки системи, описаним нечіткими методами, не витрачається багато часу на з'ясування точних значень змінних і складання рівнянь, що їх описують;
- дає можливість нечіткої формалізації критеріїв оцінки і порівняння: оперування критеріями «більшість», «можливо», «переважно» тощо;
- дає можливість використання ще однієї математичної структури - набору. Набором називають безліч елементів предметної області, при якому допускається багаторазове додавання одного і того ж елемента у набір.

Після нечітких когнітивних карт Коско були запропоновані їх численні модифікації, проте значення концептів в переважній більшості даних моделей є чіткими числами, що обмежує їх можливості для моделювання складних систем. Тому доцільним є пошук модифікацій нечітких когнітивних карт із застосуванням апарату нечітких множин.

Наступними почали публікуватись роботи, в яких пропонують численні покращення нечітких когнітивних карт Коско в задачах моделювання слабкоструктурованих систем. В деяких статтях [13-15] концепти когнітивних карт відповідають відріз-

ку шкали  $[-1,1]$ . При використанні в традиційних когнітивних картах зв'язки набували б одного з трьох значень множини  $\{-1, 0, 1\}$ , але з використанням нечіткої логіки показник зв'язку може мати будь-яке значення у цій шкалі.

Для використання апарату нечітких множин в повній мірі було розроблено також нечіткі продукційні когнітивні карти. В даному виді карт впливи факторів характеризуються нечіткими продукційними правилами (Rules Based Fuzzy Cognitive Maps). Концепти таких карт представлені нечіткими множинами, визначеними за допомогою функцій належності. Причинно-наслідкові відношення концептів характеризуються як нечітке продукційне правило [16] відносно приростів нечітких значень концептів. Загальний вигляд такого правила: якщо «приріст концепту  $A$  незначний», то «приріст концепту  $B$  набуває середнього значення». Трансформація впливів між концептами відбувається шляхом застосування нечіткого логічного висновку.

Також існують узагальнені базовані на правилах нечіткі когнітивні карти (Generalized Rule-Based Fuzzy Cognitive Maps). Це нечітка причинно-наслідкова карта, де кожне поняття містить кілька функцій членства. Ці функції представляють значення концепції (типові стани). Ваги впливу між типовими станами двох понять представлені також як функції членства. Усі компоненти (поняття, взаємозв'язки) та механізми (причина, наслідок, причинно-наслідкове накопичення, системна динаміка) є нечіткими [17]. У табл. 1 представлено порівняння методів нечітких когнітивних карт.

Завдяки проведеному аналізу, висновки якого наведені в таблиці, можна запропонувати гіпотезу про те, що найкращими для використання у задачі відбору кращого кандидата у штат, в аутстаф або в аутсорс є нечіткі знакові когнітивні карти Коско.

Через унікальність кожної окремої ситуації при підборі персоналу, є доречним взяти до уваги, що у процесі чинники, які впливають на кінцевий результат можуть змінюватися за думкою експертів, адже часто не можна наперед і з першого разу визначити найвпливовіші фактори. Це означає, що система для подібної цілі повинна передбачати можливість змін у ході процесу. Про когнітивні карти відомо, що вони зазвичай застосовуються саме для моделювання процесів, і їх переробки, адже вона не є пасивним спостерігачем, а активно взаємодіє із середовищем та чутка до будь-яких змін.

### Етапи когнітивного аналізу підбору найкращого кандидата на посаду

Когнітивний аналіз складної ситуації на кшталт підбору найкращого кандидата можна розбити на декілька етапів.

Першим і одним із найголовніших є формулювання основного завдання і цілей. Видатний німецький психолог М. Вертгеймер висунув низку ідей, які доводять, що головним в процесі прийняття рішення є не стільки операційно-технічні процедури, спрямовані на рішення вже сформульованої задачі, скільки саме формулювання завдання, чітка поста-



новка проблеми і що саме до цієї сторони розумового процесу треба привертати увагу дослідників. Системи шгучного інтелекту можуть вирішувати пос-

тавлені задачі, але ставити їх – це все ще привілей людини. Цей етап частково є реалізацією метода «ідеального кандидата».

Таблиця 1. – Порівняння методів нечітких когнітивних карт

Метод	Спосіб зображення	Метод аналізу	Використання кількісних характеристик зв'язку	Використання якісних характеристик зв'язку
Класичні когнітивні карти	Орієнтований граф	Аналіз лінійних систем	+	-
Знакові когнітивні карти	Орієнтований граф	Аналіз лінійних систем	+	-
Нечіткі когнітивні карти Коско	Функціональний граф	Матричні перетворення	+	+
Нечіткі знакові когнітивні карти Коско	Функціональний граф	Матричні перетворення	+	+
Нечіткі реляційні когнітивні карти	Функціональний граф	Матричні перетворення	-	+
Узагальнені базовані на правилах нечіткі когнітивні карти	Функціональний граф	Матричні перетворення	-	+

Другим етапом є вивчення соціально-економічного процесу відносно поставленої мети. Також сюди можна віднести визначення властивих досліджуваній ситуації вимог, умов і обмежень.

Наступний важливий етап - це збір, систематизація, аналіз існуючої статистичної та якісної інформації з проблеми. Джерелами для знаходження є зазвичай публічні платформи, Інтернет, наукові публікації, досвід працівників, досвід інших компаній, аналіз перевірених та новітніх рішень із пошуку кандидатів, методологій відбору тощо.

Четвертий етап – виділення основних характеристик ознак досліджуваного процесу і взаємозв'язків між ними, виокремлення найважливіших та найвпливовіших факторів експертною групою.

Виділення основних соціальних суб'єктів, пов'язаних з ситуацією також відіграє важливу роль, врахування їх суб'єктивних інтересів у розвитку даної ситуації дозволить визначити можливі зміни в об'єктивному розвитку ситуації, виділити чинники, на які реально можуть впливати суб'єкти ситуації. Наприклад, у задачі визначення найкращих претендентів на аутсорс вагому частку впливу на результат можуть мати експерти, які проводили професійне інтерв'ю та співбесіду для визначення soft skills (комунікативні здібності, управління часом, колективна співпраця, стресостійкість та риси лідерства, тощо), а також співробітники, які можуть поручитися своєю репутацією за якість претендента. Набір критеріїв може бути розроблений на основі карти компетенцій (унікального для кожної фірми документу із власними стандартами компетенцій та їх оцінювання, які встановлюються та корегуються на основі досвіду цієї фірми).

Наступним логічним кроком є побудова когнітивної (графової) моделі проблемної ситуації. Формально когнітивна модель ситуації може бути, як і когнітивна карта, представлена графом, проте кожна дуга в цьому графі представляє вже якусь функціональну залежність між відповідними базовими факторами. Таким чином когнітивна модель ситуації представляється функціональним графом (граф з мінімумом перетинів).

Претенденти на важливі робочі місця проходять кілька етапів оцінювання, наприклад, оцінювання резюме, оцінка співбесіди, або телефонної

розмови, тому логічним кроком буде розробка п-графів, пов'язаних між собою, в залежності від кількості етапів оцінювання.

Функціональну модель можна представити завдяки методології IDEF0 (SADT). Вона дозволяє створити опис системи та її зовнішнього оточення до визначення остаточних вимог до неї. Модель в нотації IDEF0 являє собою сукупність ієрархічно впорядкованих і взаємопов'язаних діаграм. Приклад діаграми, яка декомпозує контекстну діаграму, наведено на рис. 2.

Для визначення компетентності запозичених співробітників важливу роль відіграє технологія оцінювання компетентності усього наявного персоналу з виконання бізнес-процесів на основі комп'ютерних технологій. Це завжди нетривіальна задача та окремий проект.

Важливо зазначити, що пріоритети різних компаній будуть відрізнятися. Співробітник, який вважається найкращим для одного підприємства, не підходить іншому.

Одні керівники зацікавлені в пошуку людей, що одразу здатні видавати необхідний результат, інші готові витратити час на навчання людей, що не володіють досвідом. Через різні потреби, фактори і чинники, кожна така задача передбачає або видозміну існуючих методів, або взагалі знаходження нових шляхів.

Компетентність обраного персоналу для винесення за штат може оцінюватися зокрема за допомогою розроблених постанов Кабінету Міністрів України, де описуються рівні кваліфікації а також загальна Національна рамка кваліфікацій [18].

На жаль, рамка кваліфікацій дає достатньо абстрактні пояснення щодо володіння навичками. Для побудови списку підходящих компетенцій треба враховувати унікальність кожного окремого випадку: особливості підприємства, процеси, зовнішні та внутрішні чинники, відповідно до яких вона переглядатиметься, трансформуватиметься, розвиватиметься і коригуватиметься. Для адекватної оцінки компетентностей персоналу потрібні кастомізовані («підігнані» під потреби галузі) методи. Чим більше індивідуалізовані послуги пропонуватиме програмне забезпечення своїм клієнтам, тим більш кваліфіковані йому вдасться відібрати кадри.

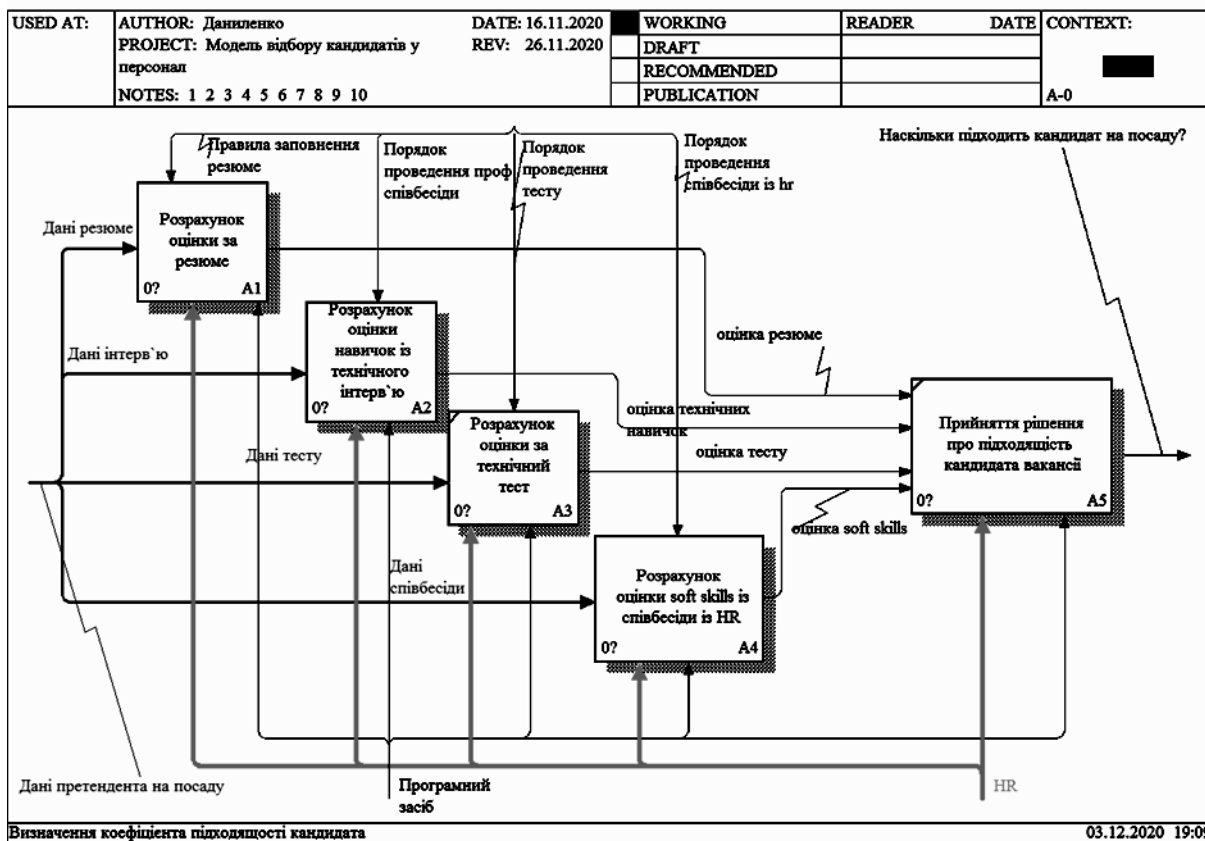


Рис. 2. Функціональна модель відбору кандидатів на посаду

На цьому етапі необхідно взаємодіяти з безпосереднім начальником майбутнього співробітника. За допомогою сучасних технологій створюється профіль ідеального працівника, визначаються якості, які сприяють максимальному досягненню результатів. Такий метод дозволить кадровим менеджерам відбирати претендентів шляхом порівняння з ідеальним профілем і відсіювати кандидатів, які не володіють потрібними навичками.

Для декомпозиції блоків базової моделі використовуються фактори, що характеризують проблемну ситуацію. Вони мають бути виділені експертами та менеджерами проекту, на четвертому етапі когнітивного аналізу та поділені за типом впливу одне на одного. Це називається виділенням в сукупності базисних факторів цільових, керуючих, проміжних та вхідних факторів. Наприклад, у задачі відбору найкращого кандидата-програміста за оцінкою резюме можна сформулювати такі керуючі критерії: досвід роботи, рівень освіти, професійні навички, грамотність зіставлення резюме, необхідність у цій посаді.

Ваги чинників доцільно регулювати самим роботодавцям та менеджерам при створенні вакансії.

Визначаються також додаткові фактори, що впливають на цільові фактори. Якщо ці фактори можуть бути сильними важелями впливу на ситуацію, то вони теж будуть внесені в модель.

На наступному етапі слід створити математичну модель системи.

Як система може складатися із сукупності підсистем, враховуючи їх зв'язки та впливи зовнішньо-

го середовища, так і математична модель системи може складатися із різних типів математичних моделей підсистем. Для опису зв'язку між компонентами системи використовуються вагові коефіцієнти. У випадку розробки програмного забезпечення для визначення того, наскільки підходить кандидат на посаду, для системи і підсистем буде використовуватися одна модель через те, що алгоритм подібний у кожному блоці, лише лінгвістичні змінні та ваги зв'язків будуть відрізнятися.

В завданні відбору кандидата на посаду потрібно створити механізм інтелектуальної підтримки прийняття рішення про те, чи підходить кандидат і наскільки він підходить. У роботі [19] висвітлюються основні переваги опису подібного дерева вибору за допомогою нечітких когнітивних карт у порівнянні з іншими методами.

Нечітка когнітивна карта – це граф, який можна описати відношенням

$$FCM = (K, W), \tag{3}$$

де  $FCM$  – власне нечітка карта,  $K$  – множина концептів карти,  $W = w_{ij}$  – це матриця суміжності, що показує взаємний вплив концептів один на одного  $w_{ij} \in [-1; 1]$ .

Нечітка причинна алгебра, покладена в основу моделювання за допомогою нечітких когнітивних карт, дозволяє обробляти нечітку суб'єктивну вхідну інформацію за допомогою точних методів, при цьому отримуючи нечітку вихідну інформацію.

Концепти (фактори) можна поділити на такі:

– цільові або основні концепти, значення яких грають найважливішу роль для вирішення завдання, і які потрібно звести до однозначного цільового стану мовою суб'єктивних понять (Наскільки підходить кандидат на посаду за результатами тесту? – «Не підходить», або «Підходить», або «Слабко підходить», або «Середньо підходить»);

– фактори керування, від значення яких залежать цільові (мають найбільший вплив на цільовий концепт, наприклад, це наявність необхідних навичок, знань, їх підтвердження);

– вхідні концепти, на значення яких впливають зовнішні чинники, що не відображені в моделі (оцінка креативності, критичного мислення і т. ін.);

– проміжні фактори, значення яких визначається зміною значень інших факторів, та які у свою чергу впливають на фактори керування (зовнішній фактор темпераменту впливає на проміжний фактор конфліктності, який в свою чергу впливає на один із керуючих факторів «оцінка роботи в команді»).

Подібна система нечіткого логічного висновку має бути здатна встановлювати складні нелінійні залежності між вхідними та вихідними змінними.

Вхідні концепти задаються значеннями лінгвістичних змінних або кількісно і можуть бути формалізовані із застосуванням теорії нечітких множин. Проміжні, керуючі та цільові концепти визначаються за допомогою бази правил через значення лінгвістичних змінних. Кожна лінгвістична змінна складається з:  $\langle \beta, T, X, G, M \rangle$ , де  $\beta$  – назва лінгвістичної змінної;  $T$  – множина її значень (термів);  $X$  – універсум нечітких змінних;  $G$  – синтаксична процедура утворення нових термів;  $M$  – семантична процедура, що формує нечіткі множини для кожної терми даної лінгвістичної змінної і ставить у відповідність нечітку підмножину множини  $X$ . Ваги задаються у проміжку  $[-1; 1]$  Позитивне значення вказує на позитивний причинно-наслідковий зв'язок між двома факторами, від'ємне значення – на негативний, нульове значення показує на відсутність зв'язків між розглянутими факторами. Даний спосіб зручний для машинного уявлення структури системи. Характеристикою даної нечіткої множини виступає функція приналежності. Існує понад десяток типових форм кривих для завдання функцій приналежності. Найбільшого поширення набули: трикутна, трапецеїдальна функції та функція приналежності Гауса.

Математичне подання сформульованої задачі може бути представлене в такий спосіб: кожна нечітка когнітивна карта основної задачі та підзадач визначається кортежем із факторів  $\{N, E, F\}$ :

$N = \{N_1, N_2, \dots, N_n\}$  – сукупність концептів (основних понять), які формують вузли графа.

$E: (N_i, N_j) \rightarrow e_{ij}$  – функція, що зіставляє значення  $e_{ij}$  парі понять  $(N_i, N_j)$ , де  $e_{ij}$  – вага ребра, спрямованого з  $N_i$  в  $N_j$ , якщо  $i \neq j$  та  $e_{ij} = 0$ , якщо  $i = j$ , тобто  $E: (N_i \cdot N_j) = (\text{sign } e_{ij})$ ,  $e_{ij}$  – це матриця зв'язків, де  $\text{sign } e_{ij}$  – позитивний чи негативний знак впливу ваги. Значення ваг на основній

діагоналі матриці мають дорівнювати нулю, через те, що зміна стану концепту не може вплинути на самого себе;

$F: N_i \rightarrow N_j$  – функція, яка в залежності від значення концепту  $N_i$  розраховує значення концепту  $N_j$ .

Саму систему можна описати у вигляді кортежу  $SM = \{\{G\{N, E, F\}\}, \text{PROG}\}$ , де  $\{G\{N, E, F\}\}$  – функціональні графи діаграми декомпозиції системи, що складаються із концептів-вершин, ваг та знаку впливу зв'язків,  $\{Exp\}$  – це експерти, що перед початком обчислень вносять суб'єктивні оцінки вхідних концептів, PROG – програмний продукт реалізації вирішення завдання відбору кандидата.

Після створення НКК вибираються методи її аналізу – через те, що фактори нечіткої карти не змінюються з часом, є доречним використовувати статичний, а не динамічний аналіз.

Для статичного аналізу функціональний граф представляється у матричній формі, наприклад, причинно-наслідкові зв'язки когнітивної карти відбору кандидата можуть бути представлені у вигляді матриці суміжності. На її основі можна проаналізувати міру центральності концепту, консонанс, дисонанс, отримати інформацію про прямі та непрямі причинно-наслідкові зв'язки.

В якості правил відбору застосовуються нечіткі правила виду «ЯКЩО ... Є ... І ... Є ... ТО ... Є ...». Крім зв'язки «І» також використовуються логічна зв'язка «АБО», але вона може суттєво ускладнити правило, тому прийнято її уникати. Це означає, що поведінка нечіткої когнітивної карти залежить від початкового стану вхідних концептів та від структури матриці причинних зв'язків когнітивної карти.

Інформація, яка потраплятиме до системи має бути точнішою за суб'єктивні незліченні поняття (менш гранульованою). Гранулювання інформації можна визначити за допомогою ширини гранули (функції приналежності). Так гранула «середньо» може мати різну ширину, що буде залежати від загальної кількості використовуваних людиною гранул. Зі зменшенням ступеня гранулювання значення буде наближуватися до точки (гранули нескінченно малої ширини), яка і відповідатиме точно заданій інформації, і вже у такому вигляді нею зможуть оперувати традиційні математичні методи. Таке підлаштування рівня гранулювання виконується експертом, який і встановлює основні правила.

Експертами створюється нечітка база правил взаємодії концептів між собою, далі завдяки графічному представленню наявних значень в системі, розглядаються шляхи між концептами. Загальний ефект впливу концепту на концепт буде сумою всіх непрямих ефектів впливу першого на другий. Отже, якщо два концепти з'єднує всього один шлях, то загальний ефект впливу першого на другий буде зведений до непрямого ефекту впливу між цими двома.

Знаходження непрямого та загального ефекту пов'язано з операціями множення і складання дійсних чисел з предметної області. Згідно із загальною

теорією впливу подібних ефектів, непрямий ефект шляху між двома концептами негативний, якщо число негативних причинних дуг в шляху непарне. Відповідно, ефект буде позитивний, якщо число негативних причинних дуг в шляху парне.

Загальний ефект впливу негативний, якщо всі непрямі ефекти впливу негативні, та позитивний, якщо всі вони позитивні, і невизначений в іншому випадку. Отже, невизначеність може домінувати в цій схемі.

Невизначеність може бути знята внаслідок використання ваг. Якщо причинні дуги мають позитивні або негативні ваги  $w_{ij}$ , тоді непрямий ефект впливу є добутком відповідних ваг, а загальний ефект – сумою добутків за всіма шляхами, що зв'язують два розглянутих концепти. Ця схема прибирає невизначеність і дозволяє оцінити взаємний вплив всіх концептів один на одного. В нечіткій когнітивній алгебрі множенню ставиться у відповідність операція мінімуму, а сумі – максимум. Отже, непрямий ефект в ній дорівнюватиме найслабшому причинному зв'язку в мережі, а загальний ефект - найсильнішому з найбільш слабких зв'язків в мережі.

Для з'ясування значень цільових, керуючих та проміжних критеріїв пропонується використовувати один із алгоритмів визначення нечіткого висновку за допомогою нечіткої логіки.

Незалежно від вибору алгоритму (Мамдані, Цукамото або Ларсена) описується послідовність етапів розрахунків. Ці етапи можна загалом розділити на фазифікацію, агрегацію, активацію, акумуляцію та дефазифікацію. При цьому кожний наступний етап отримує на вхід значення отримані на попередньому кроці.

Перший етап - фазифікація – це процес, при якому за допомогою функцій приналежності, визначається їх ступінь належності до кожного з термів лінгвістичної змінної. На цьому кроці фазифікатор формує на виході безліч нечітких множин (для кожного вхідного числового вектору своя нечітка множина) відповідно до значень параметрів на вході.

Другий етап - агрегація – це процес, який по часткових висновках дозволяє визначити істинність лінгвістичного правила. Агрегація виконується методом мінімуму.

Етапи Активація та акумуляція – визначення узагальненого ступеню відповідності вихідного сигналу певному лінгвістичному терму та формування результуючої функції належності, що характеризує вихідне значення системи для поточних значень входів.

Етап дефазифікації в системах нечіткого висновку є процесом знаходження значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини. Мета дефазифікації полягає в тому, щоб, використовуючи результати акумуляції всіх вихідних лінгвістичних змінних, отримати звичайне кількісне значення кожної з вихідних змінних. Але в нашій системі цей етап не обов'язковий, адже отримання нечіткої відповіді схоже із тим, як в реальних процесах відбору менеджерами робляться суб'єктивні висновки про те, наскільки кандидат відповідає посаді.

Для реалізації процесу нечіткого моделювання можна використовувати середовище MATLAB із пакетом Fuzzy Logic Toolbox.

Аналіз критеріїв побудованої когнітивної карти може допомогти відрегулювати її таким чином, щоб зробити більш наочною, залишивши лише критерії, які мають найбільшу вагу, і найсильніший вплив на цільові фактори.

Наприклад, можна оцінити складність самої карти, наприклад, розрахувати її щільність (ступінь зв'язності):

$$D = \frac{C}{N(N-1)} \quad (4)$$

Щільність нечіткої когнітивної карти (D) – це коефіцієнт, що показує ступінь зв'язності карти, де C - загальне число зв'язків в когнітивній карті; N - загальне число змінних (критеріїв) в когнітивній карті.

Висока щільність карти свідчить про наявність великої кількості причинних зв'язків між змінними. Чим більше їх в карті, тим більше існує можливостей для зміни ситуації, тим складнішою вона стає.

Основними результатами когнітивного аналізу є визначення консонансу, дисонансу, позитивного і негативного впливу концептів один на одного і на систему загалом. Консонансом називається показник:

$$C = \frac{|a+b|}{|a|+|b|}, \quad (5)$$

де (a, b) – пара зв'язків у когнітивній матриці, а вплив – показник  $p = \text{sign}(a+b) \max(|a|, |b|), a \neq -b$ .

Дисонанс визначається відносно консонансу  $d = 1 - C$ .

У цьому випадку консонанс – функція позитивного і негативного впливу концепту на концепт, а показник впливу – максимум позитивного чи негативного впливу. Що вищий консонанс, то переконливіша думка про знак впливу.

## Висновки

Відбір кандидатів на посаду у фірмі або персоналу у штат аутсорсу пропонується виконувати за допомогою системи підтримки прийняття рішень, в якій буде реалізовано когнітивне моделювання за допомогою нечітких когнітивних карт, що складаються із багатьох критеріїв оцінки компетентностей та навичок, а зв'язки представлені позитивними та негативними вагами впливу. Серед видів когнітивних карт було вибрано нечіткі когнітивні знакові карти Коско.

Найбільшим недоліком у прийнятті кадрових рішень досить довгий час вважається саме суб'єктивно-інтуїтивний відбір. Метод описаний вище пропонується використовувати цю особливість не як недолік, а як перевагу, можливість для гнучкості у прийнятті рішень. Існує імовірність, що запропоновані у статті методичні рекомендації зможуть автоматизувати процес відбору, полегшивши

тим самим пошук та підбір робітників на посади, що є одним із найважливіших завдань для будь-якого підприємства. Розробка програмного забезпечення на основі вищенаведеного методу може стати корисним доповненням до більшості існуючих систем та платформ, які реалізують основні функції роботи із персоналом.

Подальші дослідження в заданому напрямі дозволять створити універсальні шаблони критеріїв, та поступово їх покращувати за рахунок досвіду попереднього використання. Модель відбору персоналу можна коригувати під потреби підприємств різних розмірів та сфер діяльності, що даватиме можливість обрати кандидатів на будь-яку посаду.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Acikgoz Yalcin. Employee recruitment and job search: Towards a multi-level integration // Human resource management review, 29(1) 2019, pp. 1-13. DOI: 10.1016/j.hrmr.2018.02.009
2. Jeong Hwa-Yeon. Job type for recruitment, job function change and education direction in the fashion industry along with the growth of the online market. // Journal of the Korea Fashion and Costume Design Association, 22 (3) 2020, pp. 75-87. DOI: 10.30751/kfcd.2020.22.3.75
3. Rodney, Harriet, Katarina Valaskova, and Pavol Durana. The artificial intelligence recruitment process: How technological advancements have reshaped job application and selection practices // Psychosociological Issues in Human Resource Management, 7 (1) 2019, pp. 42-47.
4. QIN, Chuan, et al. Enhancing person-job fit for talent recruitment: An ability-aware neural network approach // The 41st international ACM SIGIR conference on research & development in information retrieval, 2018, pp. 25-34. DOI: 10.1145/3209978.3210025
5. Щюкіна Є.Ю, Балабан Л.Ю, Мартиненко К.А. Сучасні технології управління людськими ресурсами // Електронний фаховий науково-практичний журнал "Інфраструктура ринку", 43 2020, С. 338-342. DOI: 10.32843/infrastruct43-61
6. Барабанова Августина Андреевна, Мария Витальевна Неменко. Анализ автоматизированной системы управления процессом подбора персонала e-staff рекрутер // Молодой исследователь: вызовы и перспективы, 2018, С. 321-326.
7. Hurma System — обзор сервиса | Startpack. Описание Hurma System [Електронний ресурс] <https://startpack.ru/application/hurma> (Дата доступу 15.01.2021)
8. Avdeeva Z.K., Kovriga S.V. and Makarenko D.I. (2010), "Cognitive modeling for the management tasks of semistructured systems (situations)", Institut problem upravlenija RAN, vol. 16, pp. 26–39
9. Abramova N.A. and Kovriga S.V. (2008), "Some criteria of models reliability on the basis of cognitive cards", Problemy upravlenija, vol. 6, pp. 23–33.
10. Тристан А.В. Застосування когнітивних підходів в слабоструктурованих системах підтримки прийняття рішень / А.В. Тристан // Збірник наукових праць Харківський університет Повітряних Сил. – Х.:Х УПС, 2013. – Вип. 3 (36). – С. 133-136.
11. Горелова Г.В. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход / Г.В. Горелова, Е.Н. Захарова, С.А. Радченко. – Ростов н/Д.: Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.
12. Максимов В.И. Когнитивные технологии – от незнания к пониманию / В.И. Максимов // Сб. трудов 1-й Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций», (CASC'2001). – М.: ИПУ РАН, 2001. – Т. 1. – С. 4-18.
13. Білорус, Т. "МЕТОДИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОИСКА И ОТБОРА ПЕРСОНАЛА." Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Серія: Економіка 172 (2015): 20-29.
14. Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps // International Journal of Man- Machine Studies. – 1986. – Vol. 11. – P. 65-75.
15. Гожий, О. П. Побудова динамічних моделей на основі нечітких когнітивних карт для вирішення задач сценарного планування. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 2013, 7: 13-17.
16. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц / Ф.Р. Гантмахер — М.: Наука, 1967. — 575 с.
17. Borisov, V. V., & Fedulov, A. S. Generalized rule-based fuzzy cognitive maps: structure and dynamics model. In: International Conference on Neural Information Processing. Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. p. 918-922.
18. The Verkhovna Rada of Ukraine (2011). Про затвердження Національної рамки кваліфікацій [Pro zatverdzhennia Natsionalnoi ramky kvalifikatsii]. [Електронний ресурс] <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1341-2011-%D0%BF>
19. Цербагов И.А. Математические модели сложных слабоформализуемых систем: компонентный подход // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 2 (22). С. 70-78.

Received (Надійшла) 22.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.05.2021

### Method of decision selection (recruitment) staff based on fuzzy cognitive maps

Daryna Danylenko, Vitalii Martovyt'skyi, Lukashov Sergiy, Rosinskiy Dmytro, Vladislav Sukhoteplyj

**Abstract.** The article describes the main stages in the selection of candidates in the field of IT for the staff of modern software development and support companies. The subject of research is theoretical and applied aspects of automation of the stage of personnel selection by the method of cognitive analysis based on fuzzy cognitive maps. The object of the study is the stage of selection in the process of recruitment and employment to meet the needs of enterprises in the required staff. The necessity and generalized requirements for the formation of a fuzzy cognitive map of competencies as a tool for personnel selection with the help of qualitative and quantitative subjective assessments are proved. An algorithm for selecting a candidate based on the analysis of data about him, his answers at interviews, etc. has been developed. This method can also be used in many other tasks related to the selection of candidates. Practical recommendations on the organization of the procedure of selection of candidates by means of base of rules and type of interrelations between the most important criteria are given.

**Keywords:** outsourcing, automation of personnel selection, list of competencies, fuzzy cognitive maps of Cosco, selection of candidates.

С. В. Очеретенко

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

## УПРАВЛІННЯ СКЛАДСЬКИМИ ЗАПАСАМИ ТА ЇХ ОПТИМІЗАЦІЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ПО РЕМОНТУ АВТОМОБІЛІВ

**Анотація.** Розглядаються заходи, які спрямовані на підвищення ефективності функціонування роботи підприємства в сучасних умовах. Розглянуто формування системи управління запасами автозапчастин на підприємствах які займаються ремонтом автомобілів. Проведено аналіз моделей, присвячений управлінню страховим і поточним запасами та визначено що існує ряд факторів, які впливають на розрахунок оптимальної партії постачання в реальних умовах. Пропонується новий підхід до управління запасами автозапчастин, що дозволить підвищити прибуток на підприємстві.

**Ключові слова:** прибуток, замовлення, витрати, запаси, попит, автозапчастини, дефіцит.

### Вступ

Запаси автозапчастин є необхідною основою для виробничої діяльності автомайстерень. Запаси представляють собою одним з найважливіших чинників, які забезпечують безперервність ремонту. Витрати, які пов'язані з запасами – це одна з основних складових собівартості продукції і послуг, що визначають її конкурентоспроможність. Автори [1-3] вважають, що ознаками поганого управління запасами є: зростаюча кількість затримок виконання запасів; збільшення грошових інвестицій у запаси зі збереженням числа затриманих замовлень; висока інтенсивність відтоку споживачів; збільшення числа відмов від замовлень; періодична нестача достатнього простору для зберігання запасів; погіршення відносин з посередниками; велике число номенклатур застарілої продукції.

Питання визначення оптимального розміру замовлення [4] на автотранспортних підприємствах які займаються ремонтом автомобілів в даний час є дуже актуальним, так як надмірний розмір замовлень спричиняють надлишки запасів, що призведе до заморожування фінансових коштів, а малий розмір замовлень до дефіциту товару і відповідно втрати потенційних клієнтів. Що б не виникало явищ, які викликають втрату прибутку необхідно також проводити нормування запасів на підприємстві.

Проведений аналіз численних публікацій [2, 5-9] показав необхідність розрахунку, поточного і страхового запасів на підприємствах. Під нормою запасів розуміється число деталей, які повинні знаходитися на підприємстві, для забезпечення безперебійного виробничого процесу. Виділяють три види норм запасів: максимальна (сума поточного, страхового та підготовчого запасу), середня (сума половини поточного, страхового та підготовчого), мінімальна (сума підготовчого і страхового).

Таким чином для прийняття найбільш ефективного вирішення на стадії планування складу та системи замовлень на підприємстві необхідно точно визначати значення параметрів і приймати рішення про управління запасів відповідно до встановленого алгоритму управління запасами.

**Аналіз публікацій.** До основних способів скорочення запасів на думку Дж. Р. Стоку, Д.М. Лам-

берта відносять аналіз часу замовлень і часу доставки замовлень, аналіз характеристик споживчого попиту і розробка плану продажів і попиту, усунення низької оборотності і застарілої продукції та ін. На думку Ю.І. Рижикова створення запасів пов'язане з такими факторами як: дискретність поставок, випадкові коливання (зміна попиту між двома черговими поставками, обсяг поставок, тривалість проміжку часу між поставками), сезонність попиту і та ін.

До основних факторів мінімізації запасів відносять: плату за зберігання запасів, упущений дохід, втрати запасів, якісні зміни продукції. Для цього використовуються різні стратегії управління запасів (фіксований період, фіксований інтервал та ін.).

Аналіз літературних джерел [2, 5-7] показав, що для розрахунків даних нормативних показників можуть використовуватися різні методи (статистичні, аналітичні, імітаційні). Найбільш часто використовуються статистичні, які базуються на основі даних підприємств (складських і бухгалтерських звітів) про поставки і витрати запасів на складах різні рівнів. Питанням нормування запасів займалися такі вчені як Фасоляк М.Д., Мельникова Е.А., Хрящев А.С., Щетиніна В.А., Лукинський В.С. Аналіз досліджень показав, що їх моделі значно відрізняються один від одного. Це пояснюється тим, що розглядаються різні види запасів: збутові, виробничі, товарні. Так само відміна може пояснюватися в залежності, від методичних підходів, які використовували автори.

В результаті аналізу встановлено, що виконання статистичного розрахунку процесів, що відбуваються на складі обмежується такими процесами:

– зміна поточного запасу, який поповнюється дискретними поставками;

– зміна збутового запасу або запасів незавершеного виробництва з миттєвими витратами.

Проведений аналіз робіт у яких пропонується розраховувати значення страхового та поточного запасу за допомогою статистичних методів, дозволив зробити висновок, що вони можуть бути систематизовані з урахуванням однієї чи двох змінних, при цьому для оцінки відхилень випадкових величин про середні значення можливо використовувати комбіновані оцінки. Таким чином необхідно відзначити, **що метою статті** є визначення параметрів, які не враховуються при визначенні оптимального роз-

міру замовлення на автотранспортних підприємствах і отримання моделі, використання якої забезпечить максимальний прибуток на підприємстві.

### Суть пропозиції

В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що існує безліч різновидів моделей для визначення параметрів поставок. Визначення послі-

довності дій, яка допоможе визначити партії замовлень і розмір страхових запасів, які забезпечують максимальний прибуток на підприємстві можливо представити за допомогою схеми (рис. 1).

Основний блок при визначенні стратегії управління запасів є – формування бази даних про запаси. На підставі цих даних можна визначити параметри поставок і визначити який попит існує.

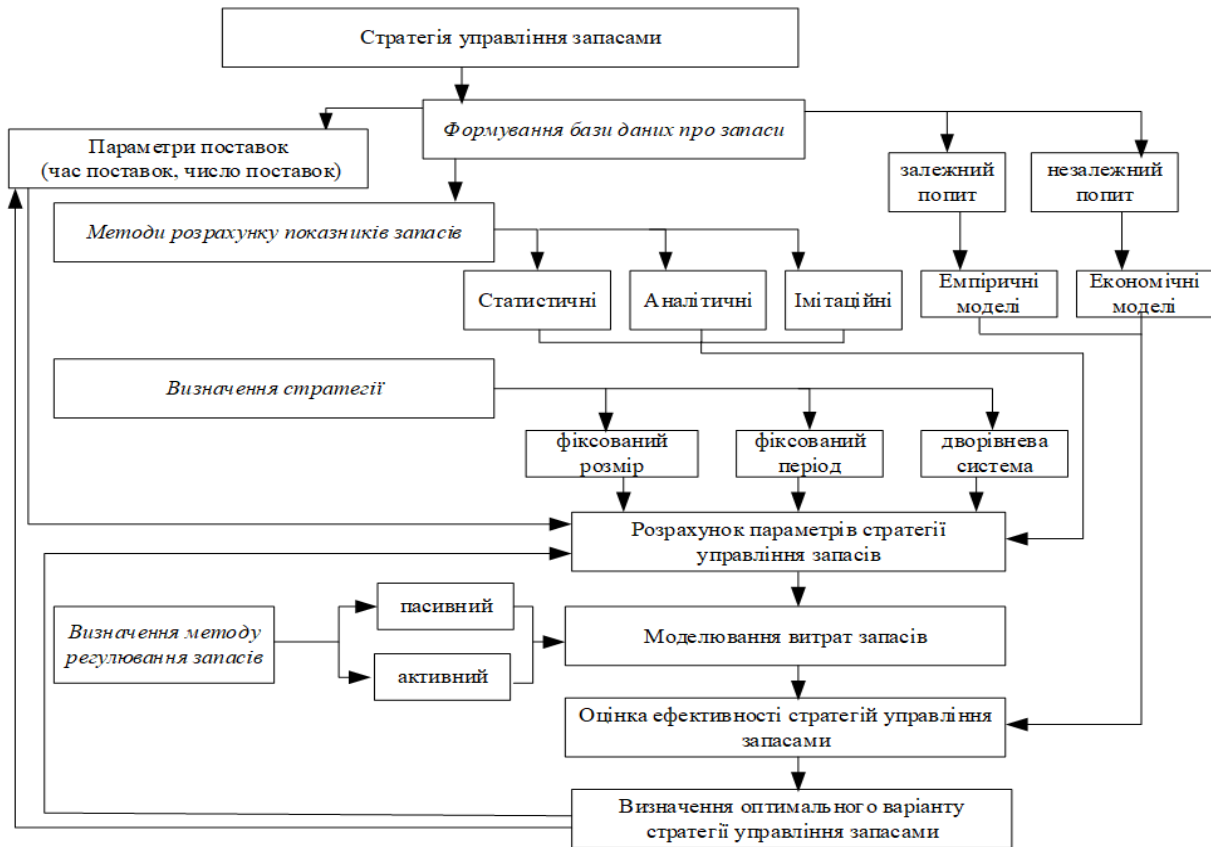


Рис. 1. Формування системи управління запасами

Аналіз даних про постачання і споживання (числа вимог на заміну непрацюючих елементів в автомобілі) на підприємствах, які займаються ремонтом автомобілів показав, що існують три різні причини виникнення замовлень:

– перший потік, викликаний ремонтом нових автомобілів проданих автотранспортними холдингами. У цьому випадку характер замовлення деталей рівномірний протягом року;

– другий потік постачань викликаний капітально відремонтованими автомобілями з різних СТО або автотранспортних підприємств. Поставки цих партій як правило, здійснюється раз на місяць;

– третій потік викликаний випадковим процесом відмови деталей і подальшою заміною необхідних для автомобіля. В даному випадку терміни поставки не постійні і змінюються протягом року.

Таким чином витрати автозапчастин зі складу визначаються кількістю вимог, що надійшли на склад і їх наявністю на складі. Велика кількість витрат деталей пов'язана з капітальним ремонтом автомобілів і малою витратою викликаних ремонтом окремих елементів автомобіля.

Таким чином поєднання зазначених видів замовлень та вимог призводить до формування випадкового, нестационарного і дискретного процесу «замовлення – споживання», який неможливо описати простими статистичними методами, що включають в себе оцінку середніх значень і середньоквадратичне відхилення. В роботі [4] запропонована модель, однак, вона не враховує втрати які викликані наявністю дефіциту продукції.

$$R_i = N_i(P_i + C_i) - (S_i \cdot C_i + C_0 \cdot S_i / Q_i + (Q_i(P_i + C_i)f/2) \cdot \Delta + (1 - \Delta) \alpha k Q_i), \quad (1)$$

де  $N_i$  – кількість проданих одиниць товару  $i$ -ї номенклатури;  $P_i$  – прибуток від продажу одиниці товару  $i$ -ї номенклатури;  $C_i$  – собівартість товару  $i$ -ї номенклатури;  $S_i$  – запланований обсяг продажів по  $i$ -ї номенклатурі;  $Q_{0j}$  – величина замовлення запчастин (поставки);  $C_0$  – загальні витрати на організацію і виконання замовлення (транспортування), що відображають переробку на складі ( $C_{ск}$ ), вантажопідйомність (вантажомісткість)  $q$  транспортного засобу і його режиму роботи  $T_n$ , а також, в деяких випадках, конфігурації транспортної мережі, що включа-

ють  $N$  пункти навантаження-розвантаження;  $f$  – частка від ціни, яка припадає на витрати по зберіганню;  $\alpha$  – витрати на зберігання продукції з урахуванням займаної площі,  $k_i$  – коефіцієнт, який враховує просторові габарити товару;  $\Delta$  – коефіцієнт, що враховує ступінь участі різних видів витрат на зберігання.

Подальше дослідження дозволило встановити, що дану модель необхідно вдосконалити. Це можливо за рахунок введення реальних параметрів (випадкових, взаємопов'язаних або взаємозалежних), та обов'язкового врахування в моделі всіляких обмежень, пов'язаних з впливом внутрішніх і зовнішніх чинників. У більшості робіт присвячених даному питанню, вважається, що  $t_3$  – інтервал часу між двома суміжними поставками, та  $Q_i$  – розмір поставки, є випадковими величинами та підкоряються нормальному закону розподілу. Для того, щоб визначити закон розподілу якій існує на підприємстві необхідно провести подальші дослідження. Припустимо, що закон розподілу нормальний. Тоді ймовірність наявності дефіциту  $D(x)$  і ймовірність відсутності дефіциту  $F(x)$  можливо визначити за моделлю

$$D(x) = 1 - F(x) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-t^2/2} dt. \quad (2)$$

Таким чином для визначення величин страхового запасу необхідно визначити  $D(x)$  та  $F(x)$ .

Якщо розподіл величин попиту і інтервалів поставок буде відрізнятися від нормального, для подальших розрахунків страхового запасу необхідно використовувати параметри інших законів розподілу. Таким чином необхідно в запропоновану модель (1) додати імовірнісні характеристики дефіциту та

відсутності дефіциту на підприємстві. Тоді отримаємо модель можна представити у такому вигляді:

$$R_i = N_i(P_i + C_i) - (S_i \cdot C_i + C_0 \cdot S_i / Q_i + (Q_i(P_i + C_i) f / 2) \cdot \Delta + (1 - \Delta) \alpha k Q_i + t_p \cdot C_{зб.зр.} \cdot \sigma \cdot \sqrt{Q/\bar{q}} + C_d \cdot F(\bar{q}, \sigma, Q, P(x))) \quad (3)$$

де  $t_p$  – коефіцієнт, що відповідає ймовірності  $P$  відсутності дефіциту на складі;  $C_{зб.зр.}$  – витрати на зберігання страхового запасу;  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення щоденної витрати продукції;  $\bar{q}$  – середнє значення щоденної витрати продукції;  $C_d$  – витрати, пов'язані з дефіцитом продукції.

Таким чином, запропонована модель враховує важливі показники. Особливо це важливо при замовленні деталей для яких характер невисокий попит при високій вартості номенклатури.

На основі статистичних даних необхідно визначити відповідні параметри моделі і провести імітаційне моделювання і на основі отриманих даних побудувати регресійні моделі.

### Висновки

В результаті виконання дослідження проведено аналіз сучасних методів по визначенню поточного і страхового запасу, а також розміру замовлення на автотранспортних підприємствах. Запропонована модель, за допомогою якої можливо визначити прибуток підприємства в залежності від обсягів замовлення партій номенклатури, яка враховує витрати які пов'язані з дефіцитом продукції. Також встановлено напрямок подальших досліджень необхідних для апробації запропонованої моделі.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сток Дж.Р. Стратегическое управление логистикой / Дж.Р. Сток, Д.М. Ламберт. – М.: ИНФРА-М., 2005 – 797 с.
2. Лукинський В.С. Модели и методы теории логистики / В.С. Лукинський – СПб.: Пітер, 2007. – 448 с.
3. Крикавський Є.В. Логістика. Для економістів. / Є. В. Крикавський. – Львів: львівська політехніка, 2004. – 448 с.
4. Очеретенко С.В. До питання про управління запасами автомобільних запчастин на торгових підприємствах // Комунальне господарство міст, 2018. Вип. 142. С. 114-117.
5. Бродецкий Г.Л. Управление запасами [Текст] / Г. Л. Бродецкий – М.: Эксмо, 2008. – 349 с.
6. Гаджинский А.М. Логистика [Текст] / А.М. Гаджинский – М.: Транспорт, 2008. – 320 с.
7. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами [Текст] / Ю.И. Рыжиков. – СПб.: Питер, 2001. – 384 с.
8. Бочкарев А.А. Планирование и моделирование цепи поставок / А.А. Бочкарев – М.: Альфа-пресс, 2008. – 192 с.
9. Шрайбфедер Дж. Эффективное управление запасами [Текст] / Джон Шрайбфедер; Пер. с англ. — 2-е изд. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. — 304 с.

Received (Надійшла) 19.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.03.2021

### Warehouse stock optimization and management of vehicle repair company

S. Ocheretenko

**Abstract.** The subject of the study is the change of enterprise's profit at a stage of ordering, delivery and storage of a batch of auto parts under various factors. The goal is to develop a method for determining an optimal order size under large number of factors of real business environment to reduce general logistics costs. **Research objectives:** analysis of expenses at vehicle repair company in the process of purchasing, transportation and storage of material resources; development of mathematical models to determine enterprise's profit at a stage of ordering, delivery and storage of a batch of auto parts under different value of the current and safety stock, as well as losses caused by a shortage of stock. **The following results were obtained.** The mathematical model is proposed that makes it possible to determine enterprise's profit depending on warehouse stock size. Warehouse stock management system is proposed. **Conclusions.** Minimizing expenses of vehicle repair company in process of purchasing, transporting and storing car spare parts directly impacts on its efficiency. Therefore it is necessary to improve company's logistic management under condition of different warehouse stock size. Using proposed model it is possible to determine optimal warehouse stock size to maximize company's profitability.

**Keywords:** profit, order, expenses, stocks, demand, auto parts, deficit.



S. Aloshyn, I. Khomenko, N. Fursova

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

## COVID-19 CORONAVIRUS SCREENING ANALYSIS NEURAL NETWORK TECHNOLOGY

**Abstract.** Low-cost, reliable and quick screening diagnosis of coronavirus can be implemented on the basis of intelligent technologies for analyzing a set of signs and symptoms with solving the problem of pattern recognition in the basis of artificial neural networks. The high degree of coronavirus infection diagnostic procedure uncertainty, the vector dimension of input factor-symptoms, fuzzy conditioning and poor formalizability of the subject condition connection with these symptoms require appropriate analytical tools. An analysis of the problem and possible solutions allows justifying the feasibility of implementing screening diagnostics as a solution to the problem of nonlinear optimization in a multidimensional space of high-dimensional factors and states. Artificial neural networks with compulsory training on a representative sample were chosen as a tool for implementing the project. The proposed technology brings diagnostics of coronavirus infection closer to full automation, robotization and intellectualization of complex monitoring (diagnostic) systems as the most promising technology for pattern recognition in systems with a high degree of entropy and allows you to solve the problem at the lowest cost and required performance indicators.

**Keywords:** neural network, recognition, signs-symptoms, adaptation, modification, pre-processing.

### Analysis of the problem

Nowadays, reliable and prompt diagnosis of COVID-19 without hospitalization and quarantine is an urgent and paramount task of society. At the existing technological level of mathematical, algorithmic and instrumental software, there is a possibility of pragmatic and effective introduction of intelligent information and telecommunication technologies at the stages of COVID-19 danger diagnostic procedure (CVD) creation. Particularly interesting variant is the option of mass and rapid diagnostics based on a set of non-invasive signs, the so-called screening - diagnostics.

In this variant there is a fairly high degree of uncertainty in the diagnostic system (high entropy of the system), which logically requires appropriate technology [1]. And this is the technology of data mining in the database of forced learning artificial neural networks [1-4]. With the unique ability to approximate multidimensional continuous functions of any complexity and any ahead given accuracy, under certain conditions, they can be used to find analytical correlations between symptoms and the degree of CVD.

The problem of diagnosing coronavirus danger is that the manifestations of the same symptoms for subjects of different ages, sex, profession, lifestyle, etc. are different. Consequently, the diagnostic system should be based on the scientific and technological basis for the analysis of complex systems, which should be understood as objects with high-dimensional input factors and output states with poorly formalized, unclearly conditioned relationships and a high degree of a priori uncertainty [4]. The high dimension of factors and states, poorly formalized and not clearly determined relationships, the presence of a subjective, human factor, generate a high degree of uncertainty in the diagnostic pro-

cess, and as a result, lead to unacceptably large errors. It is the feature that does not allow to formalize the diagnosis of CVD in full, to establish analytical dependences of viral danger states with signs-symptoms.

The requirement of the time - full automation, robotization and intellectualization of complex monitoring (diagnostic) systems does not allow the scientific community to evade the introduction of artificial intelligence systems and methods into practice as the most promising technology for pattern recognition in systems with a high degree of entropy. Thus, the efforts of researchers to synthesize an adequate mathematical model of the CV diagnostics process can help to solve the problem of diagnosis reliability in screening programs, which will ensure the use of optimal decision rules and allow the instrumental implementation of the entire complex of analytical and control options in automatic mode [3, 4, 7].

Clear and practice-tested criteria for the quality of pattern recognition and informative factors facilitates to the solvation. Then, using the technology of diagnosing subjects [1-4], it is expedient to concentrate modeling screening analysis on the problem of nonlinear optimization in a multidimensional space of factors and high dimension states [4]. At the same time, it is necessary to select quality criteria in an expert way, to put them in accordance with the values of the states of CVD and accompanying symptoms using examples of the existing prehistory (retrospective data), and strict analytical connections must be established and fixed by forced training of neural network models on a retrospective sample from real practice [1, 3].

Thus, the subject expert describes the task at the verbal level in terms of the medico-indicative paradigm, and a specialist in information technologies formalizes the task and its instrumental solution.

As it is showed in [1, 4, 6] for objects of the type under study, it is advisable to apply intelligent data analysis procedures in the basis of artificial neural networks.

This choice of analytical tools is due to the indisputable and important for practical use advantages:

- neural networks are adaptive learning systems that use examples to extract information from real processes that are difficult to dynamically simulate, because they often contain a significant array of hidden, uncontrolled, incomplete and noisy parameters and interconnections between them;

- their application allows solving problems that are difficult or impossible to solve by traditional methods due to the absence of formalized mathematical descriptions of the functioning processes;

- have associative memory and in the process of work accumulate and generalize information, from which their effectiveness increases over time;

- their use is based on training a neural network to extract information from empirical data, which ensures the objectivity of the results and increases their reliability and validity.

At the same time, modern software tools allow to design a neural network environment and implement a wide class of neural network architectures of varying complexity and rules for modifying weight coefficients in the process of forced learning with the ability to adapt a set of standard options (preprocessing, factor analysis, organization of homogeneous subsets, input sensitivity, classification, etc.)

### The extent of problem study

The development, theoretical justification and introduction of information technologies to solve the problems of image recognition in the neural network paradigm were engaged by national and foreign scientists, in particular: R. Hecht-Nielsen, T. Kohonen, S. Haikin, etc.

As a result of their activities there are:

- Fundamental principles and methods of applied artificial intelligence theory in social and technical systems;

- Constructive approaches to designing and modeling complex social and production facilities;

- Methods and algorithms of multi-level differential diagnostics in various subject areas;

- Algorithmic and software products for rapid multi-factorial data analysis in the tasks of classification, forecasting and adapting inputs to the states of the object.

At the same time, the comprehensive and effective software base of screening diagnostics automation in the space of noisy, low-informative signs of high dimension is not widely advertised in open publications today. And the critical situation with the pandemic requires today the immediate creation of productive technologies and software, the construction of reliable diagnostic models, allowing to automate the processes of CVD recognition by establishing determinized connections of criteria, states, symptoms based on intelligent technologies.

### Purpose of the article

Develop the technology of automatic screening-analysis neural network model productive ensemble synthesis in space of not invasive signs - symptoms for the operational, reliable and mass monitoring of CVD state of society and its subjects.

**Setting a task.** It is necessary to describe the state of CVD as a class in the language of its informative features, to find an analytical display of the data input vector on the result of the assessment of subject CVD state.

Building a mathematical model of CVO state indicator internal structure based on input data is down to mapping the factors into the space of states with specified reliability and accuracy:

$$F : X \rightarrow Y_{opt}, X \subset \mathfrak{R}^m, Y_{opt} \subset \mathfrak{R}, \quad (1)$$

where  $X$  is a vector of signs of the state of the CVD;

$Y_{opt}$  is the output value of the CVD state class.

An array of CVD traits, in conjunction with the relevant array of CVD state classes, allows to implement a known  $X^n = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \subset X$  pattern recognition rule [6].

$$\omega_g \in \Omega_k \text{ If } L(\omega, \{\omega_g\}) \sup_i L(\omega, \{\omega_i\}) \quad (2)$$

$$L(\omega, \{\omega_g\}) \rightarrow \omega_g \in \Omega_k,$$

where  $\vec{X} = (x_1, \dots, x_n) \in X$ ,

$L(\omega, \{\omega_g\})$  - the rule of categorizing CVD state  $\omega_g$  to the appropriate class;

$\{\omega\}$  - many states of the CVD ( $p, g$ ) in the space of the signs( $k, l$ ) for all their possible combinations ( $\omega_{pk}, \omega_{gl}$ ).

### Approximation of current CVD state function

The productive application of the neural network approach to the analysis of CVD relies on the Kolmogorov-Arnold theorem of presenting the function of several arguments through the sum of functions of one variable and its adaptation to the Hecht-Nielsen neural network format. Then the vector  $y$  (CVD classes) and the associated symptoms-signs of the current state of the subject can be presented as the following:

$$y(x) = \alpha \sum_{i=1}^H v_i (w_{i1}x_1 + w_{i2}x_2 + \dots + w_{in}x_n + u_i), \quad (3)$$

where  $H$  is the power of the training sample, the parameters of the neural network is  $\alpha$ ,  $v_i$ ,  $n$  - he number of neurons,  $w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{in}$  is the weight ratios of neurons. At the same time, it can be argued that there is a set of numbers  $H, n, \alpha, v_i, u_i$  for which the function is approximated by series (3) over the entire domain of its definition and can be implemented using a three-layer neural network with any predetermined error. This is a funda-

mental position, for it is the basis of all subsequent procedures. Indeed, if it is possible to establish a deterministic analytical relationship of the entire set of symptoms with CVD level (class), then all subsequent options are derived from this key procedure. Therefore, it requires a lot of effort and time.

**Formation of a training sample**

Nowadays, not invasive signs of COVID-19 are recorded and statistically reliable (recent data in open reports of subject specialists): headache; temperature of the body; muscle pain; abdominal pain; drowsiness; local pain; lack of appetite; pulse; receptor sensitivity, %; irritability.

In a simple version the function of CVO state can be described in two classes: 1 (Healthy); 2 (Ill).

**Training and modification of neural network synaptic set.** The neural network training procedure is based on the over-reassessment of all combinations of synapses, for example, on the algorithm of reverse distribution of the error [1-3] and implemented by the neural network module of the technical analysis package:

$$w_{hq}^{(n)}(t) = w_q(t-1) + \Delta w_{hq}^{(n)}(t), \quad (4)$$

where  $w_q(t-1) = w_q(t) + \alpha \cdot \frac{\partial E(k)}{\partial w_q(t)}$ ,

- $w$  - the array of synaptic coefficients;
- $q$  - the number of neuron output in the -n layer;
- $h$  - neuron entry number in -n layer;
- $n$  - network layer number

The process of modifying weights in the training of the neural network continues until the condition is met:

$$\frac{1}{mn} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (y_{ij} - d_{ij})^2 \Rightarrow \min (\mathfrak{R} \leq \mathfrak{R}_0), \quad (5)$$

$y_{ij}$  - current state of the CVD;

$d_{ij}$  - the result of the network's learning (response) on  $j$  - output, with  $i$  - m example of a training sample;

$j = 1, n$  - the network's exit number;

$i = 1, m$  - the example number;

$m, n$  - size of the sample array and the number of network element outputs.

**Instrumental modeling of neural network model ensemble**

In order to solve the problem, standard technical analysis package was used: table of original data (200-300 lines of training sample) and the program online.

Firstly, launch the Statistica Neural Networks module. In the starting window choose the type of task: "Classification" and "Master of Solutions", set the function and arguments on the working tabs. Choose the number of models to be saved (e.g.5). Then choose the ratio of sampling types, conduct training, evaluate the

result. On the tab "Fast", select the "Network Summary" option and find the best one in terms of performance. The set of options is simple and accessible to a wide range of users, which contributes to the widespread implementation of the proposed technology into practice.

Since each class corresponds to its own set of indicators, the procedure of classifying the object is reduced to the analysis of current state signs and comparing the results of the analysis with descriptions of early chosen classes. In the neural network format, the problem of investigated subject current state class recognizing is solved, for example, using the delta rule [3]. In the presence of two classes of states, the formation of the training set is simplified. Then it is advisable to apply the modeling technology in the environment of neuroemulators according to the method [1-3].

Lower performance is typical of models with a large number of neurons in a hidden layer, and it is necessary to find a trade-off between generalization errors on the test set, learning time, and network performance. Therefore, the choice of the final model is made by the user based on the features of subject under study, the requirements for models and the capabilities of the used neuromedia (Fig. 1.)

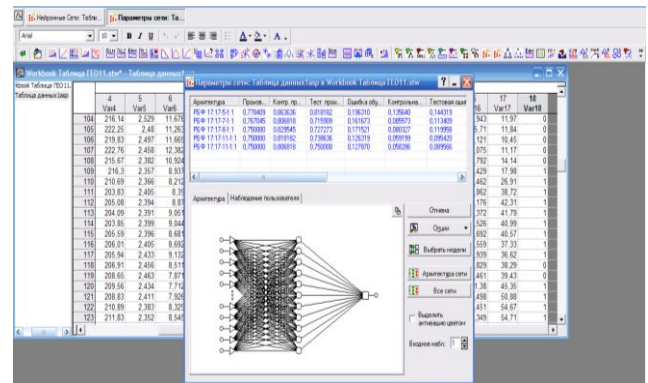


Fig. 1. Model profiles on a sample fragment

And under certain conditions and other paradigms of neural networks, activation functions, training methods, dimensions of the input symptoms, the power of the training sample, etc. performance indicators can be significantly improved (Fig. 2).

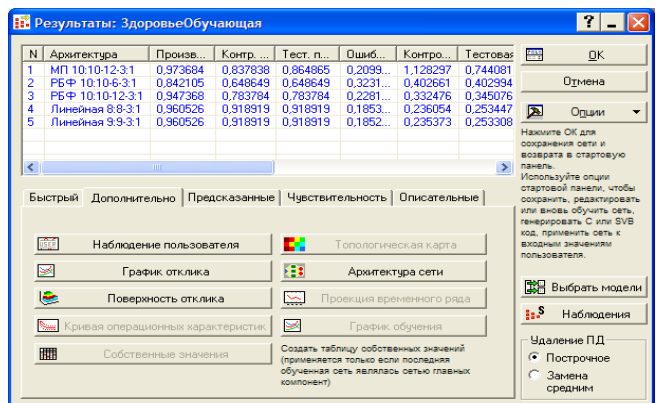


Fig. 2. Ensemble of different paradigm models of MPL, RBF, Linear Network

Model performance depends on the power of the sample at the same time, the complexity of the network, its type of and the architecture. Thus, there is a theoretical and practical confirmation of the conclusion that it is possible to build a model of CVD while ensuring the adequacy of models within the specified boundaries. The practical implementation of the project requires the most informative features of CVD, the greater statistical validity of the training sample from the data of pandemic coronavirus real dynamics.

If the space of CVD features is supplemented by the results of the detailed biochemical analysis of blood, tomography, X-ray, etc., the proposed screening analysis technology can be transformed into an intelligent application into a classical system of complete laboratory diagnostics of CVD. Only the dimension of the input vector, the power of the training set and the time of result achievement will change. However, even qualitative analysis of the convergence of the iterative process in different variants of data and learning conditions demonstrates its steady dynamics, which is shown in the two graphs of the MPL model training with different architectures (Fig. 3, 4).

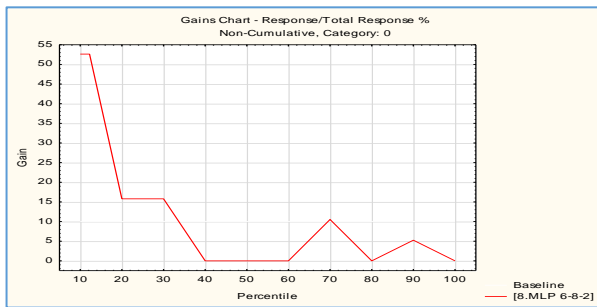


Fig. 3. MPL model training (Option 1)

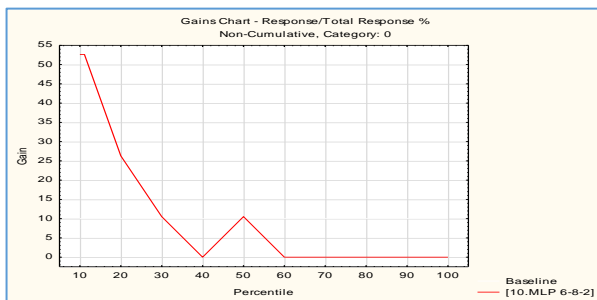


Fig. 4. MPL model training (Option 2)

As it can be seen from the graphs, the application of data mining technology in the form of neural network forced training in the space of input symptoms-factors, even in conditions of high prior uncertainty in the task of CVD classification, allowed to obtain a stable convergence of synaptic space modification iterative process (Fig. 3, 4). The number of epochs does not exceed a few hundred, which in terms of total time costs corresponds to units and tens of seconds.

Thus, the analysis of simulation the results in the neural network format generally confirms the theoretical conclusion about the productivity of CVD model analysis in real time. The results of the simulation in the basis of various structural network constructions, train-

ing methods and variations in the dimension of input symptoms-factors, as well as the power of the training set, showed a steady convergence of the iterative process of training networks with acceptable performance indicators.

For different modeling conditions, an ensemble of productive neural networks has been obtained that can be used in individual applications based on their preservation in the main code format.

**Justification of simulation result consistency**

When determining a classification error, the result of an erroneous decision is considered an event when an object belonging to the *i*- class is classified as an object of the *j*- class. In our case, in the study of CVD, the same signs of different classes take on their values at coinciding intervals, so errors are inevitable. It is necessary to minimize errors in this situation.

When the alphabet of classes is compiled, that is, for each object *b<sub>j</sub>*, a set of attributes {*x<sub>i</sub>*}<sub>*j*</sub> is assigned and the object is completely determined by them. Analysis of the description of the state of the object gives current information, on the basis of which the posteriori information is determined. The nature of the current and a posteriori information is determined by the decision rule implemented in the classifier. Since the ultimate goal is to maximize the reliability of decisions, it is advisable to apply the classical statistical rule of the ideal observer. Under these conditions, the definition of current information is reduced to calculating the likelihood function, *P(x<sub>j</sub> \ A<sub>i</sub>)*, *i* = 1, 2, ..., *M*, and posteriori - to calculating posterior probabilities [4].

$$h_{ij} = P(A_i \setminus x_j) = \frac{P(A_i)P(x_j \setminus A_i)}{\sum_{i=1}^M P(A_i)P(x_j \setminus A_i)}, i=1,2,\dots,M, \quad (6)$$

where  $\sum_{i=1}^M P(A_i)P(x_j \setminus A_i)$  is a generalized distribution of class traits (states) probabilities of the object under study (CVD).

The conclusion about the productivity of such an approach is confirmed by the internal generality of decision-making procedures according to the statistical rule, for example, maximizing the posterior probability of CVD class and modifying the synaptic space of an artificial neural network [4]. The base for extracting knowledge about CVD states of the investigated subject in both statistical and neural network formats is the same - an array of precedents, which is an objective condition for the validity of the conclusions made.

Thus, these conclusions apply to each model from our ensemble of trained networks, the productivity of which (the probability of recognizing the state of CVD) is characterized by an individual profile. The practical implementation in the neural network version of the rule for the maximum a posteriori probability of CVD class when testing statistical hypotheses is carried out in the environment of standard neuroemulators Statistica Neural Network [1–3].

For practical problems of recognizing CVD levels, achieving maximum network performance (the proba-

bility of class recognition) with admissible error values on the training, control and test sets is a necessary and sufficient condition for ensuring the reliability of solving classification problems [4].

The adequacy of neural network models established by the value of model ensemble productivity, errors on training, control and test sets when training on a representative sample allows to assert the consistency of decisions made based on the results of modeling [1, 4, 7]. In practice, it allows to respond to possible changes quickly in the dynamics of CVD symptoms by making changes to the original training set and carrying out the procedure for retraining neural networks in order to keep the efficiency criteria without significant material and time costs.

### Conclusions

1. To automate the determination of CVD class, it is necessary to find the functional dependence of its states on the values of factors. This problem is solved by using the technology of neural network forced learning and implemented by models of multilayer perceptrons as a recognition problem.

2. The practical significance of the research results lies in the creation of software tools for the transition to automatic systems of CVD screening analysis in the space of input features.

3. The developed technology, methodological, algorithmic and software tools allow automating the processes of classifying CVD states, to minimize the influence of the human factor.

4. Modeling and interpretation of the results on the platform of neuroemulators is an effective means and tool for automating decision-making management in real time for monitoring CVD.

5. Functionally, the program of trained models can be implemented as an independent application in the main code of technical data analysis package in the format of the basic subsystem for classifying the states of the research object.

6. Automation of CVD monitoring, implemented on the basis of the practical use of artificial intelligence capabilities in a neural network format, makes it possible to increase the productivity of diagnostics, reduce the time for making a decision and the risks of a pandemic spread

### REFERENCES

1. Haikin, S. Neural Networks: Full course. 2nd edition / Haikin S.M.: "Williams," 2006. 1104 s.
2. Galushkin A.I. Neurocomputers and their use at the turn of the millennium in China. T.1 and 2 / A.I. Galushkin. M., 2004. 367 p., 464 p.
3. Gorban A.N., Rossiev D.A. Neural Networks on a personal computer / Novosibirsk: Science, 1996. 276 p.
4. Alyoshin S.P. Neuronet base of support solutions in the space of factors and states of high dimension / Monograph - Poltava: Izd. Skytech, 2013. 208 p.
5. Neuronet control of the dynamics of processes as space states of high dimension / S.P. Alyoshin, E.A. Borodina // Herald of RGUPS. 2013. № 4. P. 35 - 42.
6. Neuronet recognition of classes in real time (Electronic resource) / S.P. Alyoshin, E.A. Borodina // Don's Engineer Gazette. 2013. № 1. Access mode: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1494>.
7. Neuronet modification of the current space features to the target set of classes / A.L. Lyakhov, S.P. Alyoshin, E.A. Borodina // Vysnik Donbass power machine-first academy. 2012. № 4 (29). P. 99 – 104

Received (Надійшла) 22.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.05.2021

### Нейромережна технологія підтримки скринінг-аналізу коронавірусу COVID-19

С. П. Альошин, І. В. Хоменко, Н. А. Фурсова

**Анотація.** Низькозатратна, надійна і оперативна скринінг-діагностика коронавірусу може бути реалізована на основі інтелектуальних технологій аналізу сукупності ознак-симптомів з рішенням задачі розпізнавання образів в базисі штучних нейронних мереж. Високий ступінь апріорної невизначеності діагностичної процедури коронавірусної небезпеки, розмірність вектору вхідних факторів-симптомів, нечітка обумовленість і слабка формалізованість взаємозв'язків станів суб'єкта з цими симптомами вимагають відповідного аналітичного інструментарію. Аналіз проблеми і можливих рішень дозволяє обґрунтувати доцільність реалізації скринінг-діагностування як рішення задачі нелінійної оптимізації в багатовимірному просторі факторів і станів високої розмірності. Як інструмент реалізації проекту обрано штучні нейронні мережі з примусовим навчанням на репрезентативній вибірці прикладів. Проведені дослідження ознакових просторів процесу розпізнавання (діагностування), можливостей коректного застосування статистичних вирішальних правил, алгоритмів примусового навчання ансамблю синтезованих нейромережних моделей в базисі існуючих пакетів технічних даних, дозволяють підвищити продуктивність технічних засобів діагностики шляхом автоматизації процесу аналізу, зниження впливу суб'єктивних рішень, скорочення часу реакції. Запропонована технологія наближає діагностику коронавірусної небезпеки до повної автоматизації, роботизації і інтелектуалізації складних моніторингових (діагностичних) систем як найбільш перспективної технології розпізнавання образів в системах з високим ступенем ентропії і дозволяє вирішувати вартісну задачу при мінімальних витратах і необхідних показниках ефективності. При цьому сучасний програмний інструментарій дозволяє оперативно конструювати нейромережному середу і реалізувати широкий клас архітектур нейромереж різної складності і правил модифікації вагових коефіцієнтів в процесі примусового навчання з можливістю адаптації набору стандартних опцій (попередня обробка, факторний аналіз, організація однорідних підмножин, чутливість входів, класифікація та ін.).

**Ключові слова:** нейронна мережа, розпізнавання, ознаки-симптоми, адаптація, модифікація, предобробка.

О. А. Борисенко, О. В. Бережна, С. М. Маценко, В. В. Сердюк, А. О. Горішняк, В. Р. Васильєв

Сумський державний університет, Суми, Україна

## НЕРОЗДІЛЬНІ КОДИ В СИСТЕМАХ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

**Анотація.** У зв'язку з необхідністю збільшення ефективності цифрових систем обробки та передачі даних зростають вимоги до забезпечення їх завадостійкості. Її необхідність виникає, як правило, при оперативному зчитуванні інформації з датчиків, які використовуються в системах обробки інформації. При цьому бажано використовувати завадостійкі коди, які одночасно дозволяють як обробляти, так і передавати інформацію. Такі коди здійснюють її наскрізний контроль. Це дозволяє підвищувати швидкість обробки та передачі інформації і при цьому економити апаратуру систем. Кодів наскрізного контролю відомо небагато, тому що найбільш вживані на практиці роздільні коди, наприклад, циклічні та подібні до них, використовуються, як правило, для передачі інформації і не можуть ефективно контролювати її обробку. Вирішують задачу наскрізного контролю нероздільні коди, а серед них на сьогодні найбільш перспективними кодами можна вважати коди Фібоначчі. Також досить ефективні в цьому плані є рівноважні і біноміальні коди. У даній роботі проводиться обґрунтування використання нероздільних кодів в завадостійких системах обробки і передачі інформації. Серед нероздільних кодів особливе місце займають коди Фібоначчі, які складаються з чисел Фібоначчі. Ці числа можна додавати, віднімати, множити та ділити. На їх основі будуються автомати Фібоначчі з широким спектром можливостей обробки інформації. Однією з її задач є фібоначчієва лічба. Фібоначчієві числа можуть бути за формою мінімальними та максимальними. Особливістю чисел Фібоначчі є те, що вони мінімальні, і тому лічба та лічильники на їх основі будуть більш простими та надійними в порівнянні з іншими способами фібоначчієвої лічби. Крім того, в них більш легко виявляються і частково виправляються поодинокі помилки. Але головне в них є те, що інформація з фібоначчієвого лічильника може безпосередньо без кодувального пристрою направлятися в канал зв'язку, де будуть виявлятися і при необхідності виправлятися деякі помилки, що виникають в ньому. Недоліком такого кодування буде необхідність перетворювати фібоначчієву інформацію в двійкову. Однак, це перетворення потрібно робити далеко не завжди, тому що нерідко ця інформація є керуючою і відображається на відповідних пристроях відображення.

**Ключові слова:** телекомунікаційна система, нероздільні коди, помилки, завадостійкий код.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На сьогодні, як і раніше, одним з основних завдань системи обробки та передачі інформації залишається їх захист від перешкод та збурень. При цьому потребується підвищення ефективності кодів, що в них використовуються, як з точки зору швидкодії і завадостійкості систем, так і їх апаратурних витрат. Однак, пошук таких кодів виявився досить складним. Він становить проблему, яка частково вирішується в даній роботі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Спроби застосування потужних роздільних завадостійких кодів, які використовуються в телекомунікаційних системах для організації наскрізного контролю, не принесли поки що особливого успіху, почасти тому, що ці коди спрямовані на забезпечення завадостійкої передачі інформації, а не її обробки [1-6]. Правильність роботи джерела інформації такі коди залишають поза контролем. Джерелом інформації в даному випадку може бути цифровий автомат або обчислювальна система в цілому.

Однак, це не означає, що деякі із завадостійких кодів, що застосовуються в телекомунікаційних системах, не можуть бути задіяні для контролю цифрових автоматів та обчислювальних систем. Тим більше, що на сьогодні телекомунікаційні системи забезпечені великою різноманітністю завадостійких кодів від простих й до досить потужних, здатних виявляти та виправляти пакети помилок високої кратності [3, 5, 6]. Серед завадостійких кодів слід шукати коди, які

б одночасно контролювали як передачу інформації безпосередньо в телекомунікаційній системі, так й її джерело. Тим самим здійснювався б наскрізний контроль єдиним кодом системи обробки та передачі інформації, що дає їй суттєві переваги щодо швидкодії, вартості та надійності в порівнянні з системами, в яких обробка та передача інформації контролюється окремими кодами.

**Метою статті** є пошук завадостійких кодів, які одночасно контролюють обробку і передачу інформації та обґрунтування їх застосування для контролю роботи комплексу обчислювальних і телекомунікаційних засобів.

### Виклад основного матеріалу

Робота цифрової телекомунікаційної системи відбувається наступним чином. Стан цифрового джерела інформації перетворюється в комбінацію завадостійкого коду, яка передається по каналу зв'язку. На приймальному кінці ця комбінація перевіряється декодувальним пристроєм на наявність помилок й при її відсутності передається приймачу інформації. При наявності помилки вона може бути виправлена або за допомогою повторної передачі, або, при наявності достатньої надмірності інформації, безпосередньо приймачем.

Надмірність вводиться пристроєм, що кодує, який розташований після джерела інформації, під час перетворення кодової комбінації, яка генерується джерелом інформації, в завадостійку комбінацію. У результаті до вхідної двійкової кодової комбінації



або додаються додаткові контрольні розряди або вона перетворюється в комбінацію іншого коду з іншою кількістю розрядів. У першому випадку надлишковий код буде роздільним, а в другому – нероздільним [1-2]. При цьому важливою особливістю телекомунікаційних систем є те, що в них обов'язково існують пристрої, що кодують та декодують. Перші з них вводять в передані повідомлення надлишкову інформацію, а другі за її допомогою визначають правильність отриманих повідомлень.

Особливістю нероздільних кодів, є те, що в них до розрядів вхідних кодових комбінацій, які кодують стани цифрового автомата, не додаються контрольні розряди, як в роздільних кодах, а вони перетворюються за певними правилами в інші комбінації, які після цього мають більше розрядів. При цьому як в роздільних, так і в нероздільних кодах з'являється надлишкова інформація, яка виділяє в завадостійкому коді дозволені комбінації. Поява забороненої комбінації є ознакою її помилковості. Завдяки цьому визначається правильність переданої комбінації на приймальному кінці.

Роздільні завадостійкі коди в телекомунікаційних системах на практиці на сьогодні застосовуються частіше ніж нероздільні коди в силу їх більшої потужності і можливості збереження інформаційних розрядів вихідної кодової комбінації, яка надходить від джерела інформації при її передачі. Наприклад, широко відомий роздільний код з перевіркою на парність або на непарність використовує для отримання контрольного розряду згортку інформаційних розрядів за модулем 2. Інформаційні розряди при цьому залишаються без змін [1-3].

З іншого боку, відкритість інформаційних розрядів роздільних кодів робить їх незахищеними від зовнішнього доступу. Однак, цей недолік несуттєвий, тому що захист роздільних кодів здійснюється при необхідності за допомогою відповідних методів захисту інформації.

Нероздільні коди на відміну від роздільних кодів не мають інформаційної та контрольної частини в явному вигляді. Вони мають загальну ознаку для всіх переданих комбінацій, яка відрізняє заборонені кодові комбінації від дозволених, наприклад, коли дозволеними комбінаціями будуть комбінації, що містять постійну кількість одиниць.

Однак, нероздільні коди зустрічаються в телекомунікаційних системах значно рідше, тому що вони, як правило, менш потужні ніж роздільні коди. Крім того, виникає необхідність перетворювати вхідні комбінації одного коду в вихідні комбінації іншого коду. При цьому, як й в роздільних кодах, виникає інформаційна надмірність, але вона прихована. Тому її використання для виявлення та виправлення помилок в комбінаціях після кодування в повідомленнях може бути більш складним, ніж в роздільних кодах. Значить, тоді більш складними будуть кодуючі та декодуючі пристрої телекомунікаційної системи. Так, наприклад, рівноважний код, який є нероздільним, для виявлення помилки вимагає підрахунок кількості одиниць в кодової комбінації та порівняння результату з контрольним числом,

й тому буде більш складним у порівнянні з кодом з перевіркою на парність або на непарність, де відбуваються тільки операції додавання одиниць за модулем 2. Крім того, ще потрібно перетворювати вхідні комбінації в комбінації рівноважного коду.

Однак, однією з переваг нероздільних кодів при застосуванні в телекомунікаційних системах є скритність переданої інформації, хоча вона для реальних задач є недостатньою і на практиці потребує збільшення. Однак, є перспективні розробки, які дозволяють говорити про переваги нероздільних кодів, тому що в них одночасно відбувається захист інформації, як від помилок, так й від несанкціонованого доступу. Так що питання про те, які коди будуть більш перспективними для передачі та зберігання інформації в майбутньому відкрите.

Однак, головна перевага нероздільних кодів в порівнянні з роздільними кодами полягає в тому, що нероздільні коди можуть бути ефективно застосовані для підвищення завадостійкості цифрових автоматів. Їх використання по суті є єдиним способом збільшення їх завадостійкості без резервування. Роздільні коди, які використовуються в телекомунікаційних системах, в силу їх природи не дозволяють ефективно організувати завадостійку обробку інформації цифровими автоматами. А от нероздільні коди, в силу того, що використовують при синтезі тільки дозволені комбінації, дозволяють будувати завадостійкі цифрові автомати. В них перехід автомата в стан, який не є дозволеною комбінацією, буде помилковим.

Неефективність використання роздільних кодів для завадостійкого кодування цифрових автоматів пов'язана з тим, що цифровий автомат на відміну від системи передачі інформації, яка передає її за один такт без змін, обробляє інформацію впродовж декількох тактів, на кожному з яких в загальному випадку з'являється нова інформація. Визначити правильність цієї інформації за допомогою роздільного кодування важко, тому що треба заздалегідь передбачити якою буде комбінація на виході автомата на наступному такті та порівняти її з комбінацією, яка фактично з'явиться. Зазвичай для виявлення помилок в автоматах, які використовують роздільні коди, необхідне дублювати апаратуру, а для їх виправлення – потроєння, що значно здорожує відповідні цифрові пристрої та системи, роблячи їх громіздкими та складними при експлуатації [2, 3].

На відміну від роздільних кодів нероздільні завадостійкі коди дозволяють знаходити помилки при обробці інформації цифровими автоматами за рахунок своєї надмірності, в тому числі й за рахунок природної надмірності цифрових автоматів. До того ж такі коди дають можливість завадостійкої передачі інформації безпосередньо з обчислювальних пристроїв без додаткового кодування в каналах зв'язку. В результаті один й той же завадостійкий код контролює інформацію як при її обробці, так й при передачі.

Тим самим реалізується наскрізний контроль як обчислювального пристрою, який виступає в ролі джерела інформації, так й каналу зв'язку. У ньому



виключаються кодуєчі пристрої в каналі зв'язку, а в ряді випадків й декодуєчі. Це здешевлює всю систему обробки та передачі інформації, підвищуючи при цьому надійність та швидкість її роботи.

Поява в процесі обробки інформації цифровим автоматом забороненої комбінації буде вказувати на помилку. Її виявить структура автомату або відповідний простий декодуєчий пристрій. Тим самим цифровий автомат самостійно вирішує, чи є його стан правильним чи помилковим. Тому стає непотрібним пристрій завадостійкого кодування при подальшій передачі стану автомату по каналу зв'язку. Це з одного боку заощаджує апаратні витрати, а з іншого – підвищує швидкість роботи та надійність системи обробки і передачі інформації. Хоча в окремих випадках при каналах зв'язку з високим рівнем шуму можна поставити на вході телекомунікаційної системи пристрій кодування для додаткового роздільного коду, й тоді буде отриманий код, який поєднає завадозахисні властивості роздільного та нероздільного кодів, що значно збільшить надійність передачі кодових комбінацій.

Природно, що такий обчислювальний пристрій із забороненими кодовими комбінаціями ускладнюється в порівнянні з пристроєм, в якому вони відсутні. Але можливість виявлення та в деяких випадках виправлення помилок перекидає цей недолік. В майбутньому саме такі пристрої, що працюють в нероздільних кодах із забороненими комбінаціями, повинні прийти на зміну двійковим цифровим автоматам без заборонених комбінацій. Питання при цьому буде стояти тільки в тому, який нероздільний код виявиться найкращим для того чи іншого завдання обробки інформації.

На сьогодні поки немає остаточної відповіді на це питання. Тут визначальну роль будуть грати питання швидкодії та надійності роботи обчислювальних пристроїв, що використовують нероздільні коди. З цієї точки зору особливий інтерес повинні викликати нероздільні коди, що представляють завадостійкі системи числення: фібоначчєві, біноміальні, факторіальні та їм подібні. Характерною властивістю цих систем числення є те, що їх кодові комбінації являють собою відповідні числа, над якими можна виконувати різні арифметичні та логічні дії.

**Нероздільний код для завадостійкої обробки та передачі даних.** Виходячи з вищесказаного, потрібно знайти та дослідити конкретний завадостійкий нероздільний код, який би здійснював наскрізний контроль як при обробці інформації, так й при її передачі. При цьому він повинен давати можливість відносно просто здійснювати арифметико-логічні операції у відповідному обчислювальному пристрої.

В якості такого коду в даній роботі пропонується використовувати код Фібоначчі. Відповідно обчислювальний пристрій, який вирішує це завдання в запропонованому коді, буде представлятися «автоматом Фібоначчі».

У даній роботі під «автоматом Фібоначчі» розуміється будь-який пристрій, який виконує навіть в обмеженому вигляді арифметико-логічні операції над числами Фібоначчі, введення даних, їх зберіган-

ня та формування сигналів керування. Такий пристрій може бути як вузькоспеціалізованим, наприклад, таким, що виконує за допомогою лічильника тільки операції підрахунку, зберігання та виведення керуючих даних, так й універсальним, тобто таким, що має можливість програмування, додаткову зовнішню та оперативну пам'ять і виконує логічні та арифметичні операції [4-10].

Вибір коду Фібоначчі для дослідження в даній роботі не є випадковим, тому що він досить широко досліджений в роботах [11-13]. На сьогодні існують методи та алгоритми фібоначчєвого підсумовування та лічби і на їх основі відповідні пристрої, а також цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі. Крім того, код Фібоначчі досить простий для схемної реалізації і при цьому він здатний виявляти помилки і деякі з них виправляти.

**Особливості коду Фібоначчі.** Код Фібоначчі складається з фібоначчєвих чисел і є на сьогодні досить широко відомим [5-13]. Його особливістю, як й всіх інших завадостійких кодів, є наявність для нього дозволених та заборонених комбінацій. Саме їх наявність в коді Фібоначчі на відміну від звичайних двійкових кодів, й робить цей код завадостійким, тому що заборонені комбінації цього коду є ознаками помилок.

Для коду Фібоначчі, який за своєю природою використовує одиниці та нулі, ознакою помилки є наявність в них двох та більше одиниць поспіль. Причому поява трьох одиниць, що стоять поруч, дозволяє виправляти одиночну помилку, що особливо важливо в задачах обробки інформації, де новий запит інформації неможливий. Як бачимо, алгоритм виявлення та виправлення помилок є досить простим.

Однак, цей код, крім завадостійкої обробки інформації, здатний також досить ефективно передавати інформацію з виявленням та виправленням деяких помилок.

Це поряд з можливістю надійної обробки інформації на його основі робить його універсальним для багатьох застосувань, тому що зазвичай пристрої та системи обробки інформації не тільки формують дані, а й оперативно їх передають на різні вихідні пристрої.

Такими пристроями можуть бути пристрої відображення інформації, вимірювальні пристрої, такі як частотоміри, таймери та інші їм подібні.

Існує дві модифікації коду Фібоначчі – мінімальний (нормальний) та максимальний код, одержуваний при розгортці фібоначчєвих чисел. Реалізація арифметичних операцій над ними відбувається в процесі переходу від мінімальної форми до максимальної форми та зворотно.

Однак, існує й можливість виконання цих операцій в мінімальній формі без всяких переходів, що дає певні переваги у швидкодії та апаратних витратах відповідних цифрових автоматів Фібоначчі [7, 13].

Мінімальна форма коду Фібоначчі покладена в основу даної роботи та відповідних автоматів Фібоначчі.

**Фібоначчіві числа.** Фібоначчіві система числення генерує фібоначчіві числа в нормальній (мінімальній) формі, ваги яких являють собою послідовність чисел Фібоначчі 1, 1, 2, 3, 5, 8,  $F_n$ . Кожне число з цієї послідовності

$$F_n = F_{n-1} + F_{n-2}.$$

Номер фібоначчівого числа задається нумераційною функцією, ваги якої представляються числами Фібоначчі:

$$N = a_n F_n + a_{n-1} F_{n-1} + \dots + a_i F_i + \dots + a_1 F_1,$$

де  $a_i$  - двійкове значення  $i$ -го розряду фібоначчівого числа;  $n$  - довжина числа;  $F_i$  - вага  $i$ -го розряду.

В скороченому вигляді фібоначчівіе число записується таким чином:

$$N_a = a_n a_{n-1} \dots a_i \dots a_1.$$

Нульовий розряд в ньому відсутній.

Наприклад, числа 11, 17, 23, 41 і 52 в мінімальній формі коду Фібоначчі представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. – Фібоначчіві числа

Номер розряду n	8	7	6	5	4	3	2	1
Вага розряда	34	21	13	8	5	3	2	1
N=11	0	0	0	1	0	1	0	0
N=17	0	0	1	0	0	1	0	1
N=23	0	1	0	0	0	0	1	0
N=41	1	0	0	0	1	0	1	0
N=52	1	0	1	0	1	0	0	0

Джерело: розроблено авторами.

Діапазон фібоначчівих чисел

$$P = F_n + F_{n-1}.$$

В кодах Фібоначчі ознакою помилки є поява двох та більше одиниць поруч. При наявності трьох одиниць, що розташовані поруч, одиниця всередині повинна бути замінена нулем. В результаті помилка виправляється. Так, якщо з'являється на вході приймача фібоначчівіе число 0111010101, то це означає, що в ньому сталася помилка в 8 розряді. Для її виправлення достатньо одиницю, що розташована в цьому розряді, інвертувати в 0. Тоді правильним буде число 0101010101 = 33.

### Оцінка завадостійкості фібоначчівих чисел.

Фібоначчіві числа є нероздільними. Тому їх оцінка може проводитися відповідно до методики, запропонованої Харкевичем. Суть цієї методики зводиться до того, що в коді виділяються підмножини дозволених та заборонених кодових комбінацій. Після цього знаходиться відношення кількості заборонених комбінацій до їх загальної кількості, і це число віднімається від 1. Отриманий результат показує ймовірність виявлення помилок кодом, що розглядається. Ця ймовірність змінюється від 0, коли заборонених комбінацій немає, й до 1, коли всі комбінації відносяться до заборонених комбінацій. Цей критерій показує, що ймовірності виявлення помилок зі збільшенням довжини фібоначчівих чисел збільшуються, й при необмеженому зростанні довжини чисел прагнуть до 1. Звідси випливає висновок, що автомат Фібоначчі, який обробляє більш довгі числа, є більш надійним, ніж автомат, що працює з числами меншої довжини.

### Висновки

Серед завадостійких кодів особливими властивостями виділяються завадостійкі нероздільні коди. Вони дозволяють одночасно контролювати збір, обробку та передачу інформації. Це дозволяє здійснювати одним й тим же кодом наскрізний контроль систем обробки та передачі інформації, що спрощує та здешевлює їх контроль, а також збільшує достовірність обробки і передачі інформації.

У якості одного з перспективних завадостійких нероздільних кодів пропонується використовувати код Фібоначчі, який відрізняється простотою технічної реалізації та здатністю обробляти інформацію. Він же ефективно може використовуватися і для подальшої передачі інформації за допомогою телекомунікаційної системи.

Аналогічно, як і фібоначчіві числа, можна використовувати біноміальні числа біноміальних систем числення та числа інших подібних систем, наприклад, факторіальних. Для них також існують відповідні лічильники, а інформація з них здатна здійснювати наскрізний самоконтроль. Можна отримати й інші нові, поки ще невідомі, самоконтрольовані нероздільні коди, які можуть здійснювати наскрізний контроль при обробці та передачі інформації. Однак, вони потребують дослідження їх ефективності.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Error-Correction Coding and Decoding / F.M. Tomlinson, C.J. Tjhai, M.A. Ambroze, M. Ahmed, M. Jibril. – Cham, Switzerland: Springer Open, 2017. – 520 p.
2. The art of error correcting coding / R.H. Morelos-Zaragoza. – John Wiley, 2016. – 263 p.
3. The theory of Error-Correcting Codes / F. MacWilliams, N. Sloane. – North Holland, 1977. – 762 p.
4. Кулик И.А. Метод оценки границ применения сжатия на основе двоичных биномиальных чисел / И.А. Кулик, А.И. Новгородцев, М.С. Шевченко // Системи обробки інформації. – 2019. – № 2(157). – С. 57-62.
5. Borysenko O. Description and applications of binomial numeral systems / O. Borysenko, V. Kalashnikov, N. Kalashnykova // Computer Science and Cyber Security. – 2016. – Vol. 2(2). – P. 13–21.
6. Кулик І.А., Шевченко М.С. Розробка інформаційно-керуючих систем на основі двійкової біноміальної системи числення. Системи обробки інформації. 2020. № 2(161). С. 78-85. <https://doi.org/10.30748/soi.2020.161.09>.
7. Borysenko O. Development of the Fibonacci-Octal Error Detection Code for Telecommunication Systems / O. Borysenko, S. Matsenko, S. Spolitis, V. Bobrovs // 24th International Conference Electronics. – 2020. – P. 1–5 // <https://doi.org/10.1109/IEEECONF49502.2020.9141620>.
8. Fibonacci and Lucas Numbers / V. Hoggatt. – MA: Houghton Mifflin, 1969. – 92 p.

9. Fibonacci & Lucas Numbers and the Golden Section: Theory and Applications / S. Vajda. – Chichester: Ellis Horwood Ltd, 1989. – 189 p.
10. The Fibonacci Numbers / N. Vorobyov. – DC Heath, Boston, 1966, 47 p.
11. Stakhov A. Fibonacci p-codes and Codes of the “Golden” p proportions / A. Stakhov // New Informational and Arithmetical Foundations of Computer Science and Digital Metrology for Mission-Critical Applications. British Journal of Mathematics & Computer Science. – 2016. – Vol. 17. – No. 1. – P. 1–49 // <https://doi.org/10.9734/BJMCS/2016/25969>.
12. Ávila T. Bruno. Meta-Fibonacci Codes: Efficient Universal Coding of Natural Numbers / T. Bruno Ávila, Ricardo M. Campello de Souza // IEEE Transactions on Information Theory. – 2017. – Vol. 63. – No. 4. – P. 2357–2375 // <https://doi.org/10.1109/TIT.2017.2663433>.
13. Cui X. An Enhancement of Crosstalk Avoidance Code Based on Fibonacci Numeral System for Through Silicon Vias / X. Cui, X. Cui, Y. Ni, M. Miao, J. Yufeng // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems. – 2017. Vol. 25. – No. 5. – P. 1601–1610 // <https://doi.org/10.1109/TVLSI.2017.2651141>.

## REFERENCES

1. Tomlinson, F.M., Tjhai, C.J., Ambroze, M.A., Ahmed, M. and Jibril, M. (2017), “Error-Correction Coding and Decoding”, Springer Open, Cham, Switzerland, 520 p.
2. Morelos-Zaragoza, R. H. (2016), “The art of error correcting coding”, John Wiley, 263 p.
3. MacWilliams, F. and Sloane, N. (1977), “The theory of Error-Correcting Codes”, North Holland, 762 p.
4. Kulik, I.A., Novgorodtsev, A.I. and Shevchenko, M.S. (2019), “Metod otsenki granits primeneniya szhatiya na osnove dvoichnykh binomialnykh chisel”, *Sistemi obrobki informatsii*, No. 2(157), pp. 57–62.
5. Borysenko, O., Kalashnikov, V. and Kalashnykova, N. (2016), “Description and applications of binomial numeral systems”, *Computer Science and Cyber Security*, Vol. 2(2), pp. 13–21.
6. Kulik, I.A. and Shevchenko, M.S. (2020), “Rozrobka informatsiino-keruiuchykh system na osnovi dviikovoi binomialnoi systemy chyslennia [Development of information and control systems based on binary binomial number system]”, *Sistemi obrobki informatsii*, No. 2(161), pp. 78–85 // <https://doi.org/10.30748/soi.2020.161.09>.
7. Borysenko, O., Matsenko, S., Spolitis, S. and Bobrovs, V. (2020), “Development of the Fibonacci-Octal Error Detection Code for Telecommunication Systems”, *24th International Conference Electronics*, pp. 1–5 // <https://doi.org/10.1109/IEEECONF49502.2020.9141620>.
8. Hoggatt, V. (1969), “Fibonacci and Lucas Numbers”, Houghton Mifflin, MA, 92 p.
9. Vajda, S. (1989), “Fibonacci & Lucas Numbers, and the Golden Section: Theory and Applications”, Ellis Horwood Ltd, Chichester, 189 p.
10. Vorobyov, N. (1966), “The Fibonacci Numbers”, DC Heath, Boston, 47 p.
11. Stakhov, A. (2016), “Fibonacci p-codes and Codes of the “Golden” p proportions: New Informational and Arithmetical Foundations of Computer Science and Digital Metrology for Mission-Critical Applications”, *British Journal of Mathematics & Computer Science*, Vol. 17, No. 1, pp. 1–49 // <https://doi.org/10.9734/BJMCS/2016/25969>.
12. Ávila, T. Bruno and Campello de Souza, Ricardo M. (2017), “Meta-Fibonacci Codes: Efficient Universal Coding of Natural Numbers”, *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 63, No. 4, pp. 2357–2375 // <https://doi.org/10.1109/TIT.2017.2663433>.
13. Cui, X., Cui, X., Ni, Y., Miao, M. and Yufeng, J. (2017), “An Enhancement of Crosstalk Avoidance Code Based on Fibonacci Numeral System for Through Silicon Vias”, *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, Vol. 25, No. 5, pp. 1601–1610 // <https://doi.org/10.1109/TVLSI.2017.2651141>.

Received (Надійшла) 12.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.04.2021

**Inseparable codes in information processing systems**

Oleksiy Borysenko, Olga Berezhna, Svitlana Matsenko, Viktor Serdiuk, Andrii Horishniak, Vitaly Vasilyev

**Abstract.** Due to the need of increasing the efficiency of digital data processing and transmission systems, the requirements for ensuring a high level of their noise immunity are often increasing. The need of noise-immune processing and transmission of information usually arises when the data are quickly read from sensors, processed and transmitted through communication channels. In this case, it is desirable to use noise-immune codes, which simultaneously allow both processing of information and transmitting it through communication channels, as this allows to reduce the amount of equipment, make it more reliable and increase the speed of information processing and transmitting. In such case, there is an end-to-end control of information with the same code. Among the noise-immune codes there are codes that solve the posed problem of end-to-end control. Such codes are inseparable codes, and among them equilibrium, binomial and Fibonacci codes. The authors in this work conducted justification of such codes usage in noise-immune systems for processing and transmitting information. Among the listed codes, a special place is taken by Fibonacci codes, represented by Fibonacci numbers which can be added, subtracted, multiplied and divided. Based on them, Fibonacci automata can be built with a wide range of information processing tasks. One of such tasks is the count specified in this article in the form of a Fibonacci count. Fibonacci numbers can be in minimum and maximum form. The peculiarity of the Fibonacci numbers considered in this article is that they are minimal, which means that the counting and counters based on them will be simpler and more reliable. In addition, they more easily detect and partially correct single errors. Information from the counter can be sent directly without an encoder to the communication channel, where some occurring errors will be detected and, if necessary, corrected. The disadvantage of such coding will be the need to translate the Fibonacci information into binary code at the receiving end in some cases. However, this is not always required, since this information is often a control one and is displayed on the corresponding display devices.

**Keywords:** telecommunication system, inseparable codes, errors, noise-immune code.

А. І. Вінокуров, Г. І. Молчанов

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## ПЕРЕВАГИ ДИНАМІЧНИХ ВЕБ-СТОРИНОК НАД СТАТИЧНО-ГЕНЕРОВАНИМИ

**Анотація.** Предметом дослідження в статті є існуючі методи генерації відображення контенту веб-сторінок для користувачів веб-ресурсів. **Мета роботи** – аналіз переваг та недоліків основних підходів у створенні візуального веб-контенту для користувача, їхнє порівняння. **Висновки:** в сучасних системах веб-сайтів головним засобом спілкування з користувачем є інтерфейс, який має бути гнучким і зручним, а отже динамічно змінюватися відповідно до дій користувача. При цьому рівень обчислювальних потужностей сучасних пристроїв, що використовуються для доступу до веб-сайтів, є достатньо високим для швидкого та зручного відображення контенту, а динамічні сторінки адаптованими до різних цільових пристроїв. Таким чином забезпечується комфортний перегляд контенту та в той же час економне використання серверних ресурсів.

**Ключові слова:** HTML, CSS, JSP, Angular, Vue, Java, React, JavaScript, Redux, REST, C#, PHP, Python, Ruby.

### Вступ

Вимоги інформаційної епохи зумовлюють необхідність переведення значної кількості інформації та людської діяльності у електронний вигляд. Не викликає сумнівів, що локальне сховище є небезпечним з точки зору можливого викрадення інформації, ненадійним з точки зору недовговічності роботи пристроїв збереження даних та й просто незручним через неможливість забезпечення вдалої класифікації, розподілення, точності пошуку. Стає зрозумілим чому в останній час стрімко збільшується кількість інформації, що зберігається на віддалених серверах, хмарних сховищах тощо.

Відповідно до потужностей, що використовуються для зберігання інформації, існують і програмні засоби, які відповідають за обробку даних. Є очевидним той факт, що можливість ефективної реалізації таких засобів має суттєве значення.

Інформація може бути загально-доступною, особистою, корпоративною чи навіть державною. Зазначаючи її важливість, доцільним стає забезпечення аутентифікації – виконання перевірки достовірності інформації та ідентифікаційних даних – на боці користувача. Подібний функціонал існує саме на динамічних веб-сторінках, проте статичні аналоги не мають достатнього рівня якості, зручності та швидкості.

Також вагомим питанням є зручність розробки користувацької частини тим чи іншим способом. Оскільки сучасні й прогресивні програми чи сайти розробляються в значній мірі цілими командами для кожного з напрямів, то необхідна можливість вдалої їхньої взаємодії, яка відбувається по різному для різних підходів, що обговорюються.

Таким чином, детальний аналіз сучасних підходів динамічного генерування сторінок є необхідним для розуміння переваг та недоліків, а також можливостей до вдалого використання цього інструменту. Під вдалими мається на увазі той варіант, коли забезпечується ефективне застосування та зручний процес розробки як у команді, так і у випадку індивідуального створення продукту.

Отже, метою роботи є аналіз переваг та недоліків основних підходів у створенні візуального веб-контенту для користувача, їхнє порівняння.

### Виклад основного матеріалу

Оскільки мови програмування серверної частини, наприклад Java, C#, PHP, Python, Ruby, мають власні інструменти статичної генерації сторінок, то аналізувати всі випадки не доречно, а більш доцільним було б зупинитися на певній мові програмування та відповідному інструменті. В даному випадку одним із найбільш яскравих прикладів є мова програмування Java та її інструмент JSP.

Перш за все треба зазначити основні можливості JSP. Оскільки за допомогою Java можливо пряме створення коду сторінки із коду сервлету, що приймає запит, то виникає питання доцільності існування інструменту JSP.

JSP-код пишеться всередині коду веб-сторінки і дозволяє розташовувати Java-код, змішуючи його з кодом розмітки HTML. При цьому ніяких додаткових методів описувати не треба, код буде виконуватися напряму. На рис. 1 наведений приклад коду для виведення повідомлення за допомогою JSP.

```
<html>
  <head>
    <title>Greetings!</title>
  </head>
  <body>
    <h1>Hello world!</h1>
    <i><%= out.println("JSP works") %></i>
  </body>
</html>
```

Рис. 1. Приклад JSP-коду

З огляду на присутність Java-коду в коді веб-сторінки, з'являється необхідність наявності відповідних знань і умінь користуватися цією мовою програмування. А це саме по собі є додатковою і чималою вимогою до веб-розробника.

Проте існує бібліотека тегів JSTL, що дозволяє програмувати за допомогою заздалегідь визначених інструкцій без використання Java-коду безпосередньо на веб-сторінці та потребує мінімум додаткових знань.

Приклад реалізації простого коду вказаним вище методом наведений на рис. 2.



```

<%@ taglib uri="http://java.sun.com/jsp/jstl/core"
prefix="c" %>
<html>
<head>
<title>Greetings!</title>
</head>
<body>
<c:out value="Hello world! - From JSTL">
</c:out>
</body>
</html>

```

Рис. 2. Приклад JSTL-коду

Зазначена бібліотека включає до себе основні можливості JSP, при цьому має велику кількість переваг, серед них: підвищена читабельність, відсутність Java-коду, об'ємна стандартна бібліотека тегів, в ній істотно підвищено безпека коду, завдяки заздалегідь сформованим обмеженням та перевіркам. Також існує можливість легкого створення користувацьких тегів на відміну від функцій у JSP. Створення власних JSTL-інструкцій дійсно є простим, оскільки дозволяє використати як Java-код, так і інші JSTL-теги.

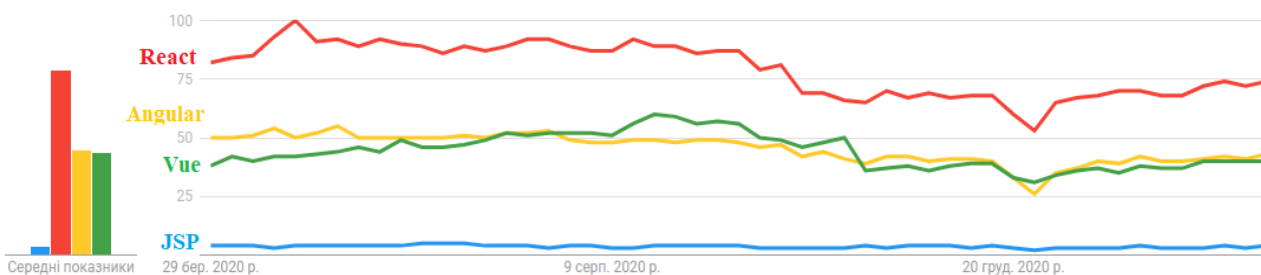


Рис. 3. Статистика пошуку веб-технологій

Можна помітити значний програвш у популярності JSP протягом усього 2020-го року порівняно з усіма іншими зазначеними технологіями. Навіть якщо провести аналіз прогресії, то очевидним стає те, що дана технологія не набирає популярності, а навпаки спостерігається певний спад, хоча й дуже повільний, однак точно не зростає.

Оскільки бізнес диктує свої умови, які вимагають руху лише до більш доцільного, сучасного, перспективного, то очевидною стає тенденція у популяризації динамічних сторінок на базі JavaScript-фреймворків.

На рис. 4 зображена популярність запитів на фреймворки у порівнянні одне до одного, де вчоргове можна побачити, що JSP не є передовою технологією в жодній з країн світу.

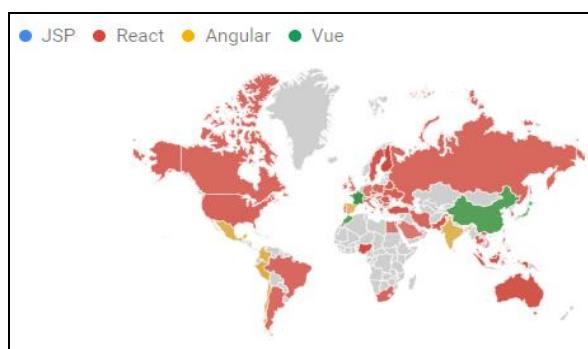


Рис. 4. Статистика пошуку веб-технологій

Проте жодний із вказаних засобів чи можливостей JSP не вирішує основні проблеми серверного підходу до генерування веб-сторінок. Серед основних проблем наявні:

- витрати серверних ресурсів, часу та пам'яті;
- незручність при відлагодженні;
- неможливість повноцінного тестування;
- порушення принципу розділення відповідальності;
- вимога додаткових знань у розробника.

Раніше подібні недоліки вважалися такими, яких не уникнути і всі існуючі аналоги працювали за подібною схемою, мали схожі проблеми, як і метод на основі JSP. Таким чином, як тільки з'явився альтернативний шлях, або можливість вирішити ці проблеми, почався активний перехід на нові технології. На рис. 3 можна побачити графіки популярності запитів у пошуковій системі Google. Синім кольором зображено те, що відповідає JSP, червоним, жовтим та зеленим позначено React, Angular, Vue відповідно.

Внаслідок застарілості технології серверної генерації сторінок, очевидним є зростання популярності альтернативних рішень. Однак не розкритим залишається питання щодо можливостей зазначених JavaScript фреймворків та їхніх значних переваг, а також постійного й швидкого розвитку в різних напрямках.

Розглянемо на прикладі React як статистично-найпопулярнішого фреймворку. У React.js програма складається з компонентів, що працюють за принципами ООП, а саме підтримують наступне: наслідування, композицію, агрегацію, інкапсуляцію. Оскільки логіка компонентів написана на JavaScript, замість шаблонів можна з легкістю передавати складні дані у програму і зберігати стан окремо від DOM. Компоненти реалізують метод `render()`, який приймає вхідні дані і повертає те, що буде показано користувачу. У цьому прикладі використовується XML-подібний синтаксис під назвою JSX. Доступ до вхідних даних, які передаються в компонент, можна отримати за допомогою `render()` та `this.props`.

JSX (рис. 5) є основним способом написання React-коду, хоча й не виключним. Підтримується й «чистий» JavaScript-код, що не потребує використання охоплюючих HTML-тегів. При бажанні звичайний JSX-код можна трансформувати до подібного за допомогою інструменту Babel. Таким чином, будь-який із підходів є прийнятним та однаково ефективним для роботи з даним фреймворком.

```

class HelloMessage extends React.Component {
  render() {
    return (
      <div>
        Привіт, {this.props.name}
      </div>
    );
  }
}

ReactDOM.render (
  <HelloMessage name="Петро" />,
  document.getElementById('hello-example'),
);

```

Рис. 5. Приклад JSX-коду

На рис. 5 надано приклад абсолютно ідентичної програми до зазначеної раніше, єдина різниця, що тут код написаний на чистому JavaScript, без використання JSX. Це не впливає на швидкість виконання чи споживання пам'яті, лише зручно розробнику.

```

class HelloMessage extends React.Component {
  render() {
    return React.createElement (
      "div",
      null,
      "Привіт, ",
      this.props.name
    );
  }
}

ReactDOM.render (React.createElement (HelloMessage,
{ name: "Петро" } ),
document.getElementById('hello-example'));

```

Рис. 6. Приклад React-коду без JSX

React притримує парадигми декларативного програмування. Таким чином, від розробника лише вимагають описання різних частин інтерфейсу в різних станах системи, а сам фреймворк буде самостійно рендерити необхідні елементи, оновлюючи сторінку у відповідності до динамічних змін, ініційованих користувачем чи іншими чинниками.

Використовуючи так звані «пропси» і «стан», ми можемо створити невелику програму для складання списку справ. Цей приклад використовує стан для відстеження поточного списку елементів, а також тексту, введеного користувачем. Хоча обробники подій здаються вбудованими, вони будуть зібрані та реалізовані за допомогою методу делегування подій. При цьому жодних обмежень про інші технології, які будуть використовуватись додатково, не існує. Тому є можливим розробляти нові функції в React, не переписуючи існуючий код. React також може рендеритись на сервері, використовуючи Node, і приводити в дію мобільні програми, які використовують React Native.

Тобто React може бути абсолютно спокійно використаним для генерації веб-сторінки на боці серверу, при цьому не втрачаючи своїх можливостей чи властивостей. Для генерації на боці серверу доречно використовувати технологію Node.js, яка також є доволі популярною технологією для серверів, хоча це й є певним обмеженням при бажанні серверної генерації сторінок. React дозволяє взаємодіяти з іншими бібліотеками та фреймворками. У прикладі на рис. 7 використана зовнішня бібліотека — Markdown, для зміни значення, збільшення естетичної цінності текстових елементів.

```

const str = '# Heck Yes\n\nThis is great!'

<Markdown options={{ wrapper: 'article' }}>
  {str}
</Markdown>;

// or

compiler(str, { wrapper: 'article' });

// renders

<article>
  <h1>Heck Yes</h1>
  <p>This is great!</p>
</article>

```

Рис. 7. Приклад JSX-коду з Markdown

Формат Markdown загалом має багато функцій для зручного зображення тексту: списки відмічені символами, пронумеровані послідовності, відмічення заголовного тексту особливим шрифтом, створення горизонтальних ліній різної конфігурації (суцільні, штрихові, пунктирні, штрих-пунктирні, створені зі спеціальних символів, подвійної товщини, дві паралельні лінії), користувацький розмір інтервалів між рядками. Також існують варіанти дублювання можливостей HTML кодом Markdown. При цьому результат іноді буде значно більш компактним, зручним, зрозумілим і універсальним. Приклад наведено на рис. 8.

```

* Пункт в маркованому (ненумерованому) списку
  * Підпункт, відділений 4 пробілами
* Інший пункт в маркованому списку

1. Пункт в нумерованому списку
  1.1. Підпункт, відділений 4 пробілами
2. Інший пункт в нумерованому списку

```

Рис. 8. Приклад Markdown інтерфейсу

Однією з основних переваг динамічних сторінок є власне їхня здатність до динамічного змінування без перевантаження чи навіть запитів на сервер. Окрім як реакції на дії користувача також допустимими є зміни з часом (код наведено на рис. 9). Також на рис. 10 можна побачити результат, який показує приклад зміни тексту відповідно до поточного часу і зміна, яка відбувається кожену секунду.

Інший варіант використання фреймворку React — це його варіація під назвою React Native. Він дозволяє використання подібних механізмів розробки для формування інтерфейсів мобільних програм, поєднуючи сучасні засоби формування веб-сторінок та мобільну розробку, при цьому закріплюючи окремі ролі різних технологій у випадку створення мобільних застосунків, що мають за задачу виконання функцій програмного забезпечення. Однак для різних ігрових додатків подібний фреймворк не є доречним. Останнім, проте чи не одним із найважливіших моментів є цілковита підтримка архітектури REST, завдяки технології модуля Redux, що є відкритою JavaScript бібліотекою для керування станами програм, які працюють на основі цієї мови.

```
function tick() {
  const element = (
    <div>
      <h1>Hello, world!</h1>
      <h2>Sapas {new Date().toLocaleTimeString()}</h2>
    </div>
  );
  ReactDOM.render(element, document.getElementById('root'));
}
setInterval(tick, 1000);
```

Рис. 9. Динамічний React код

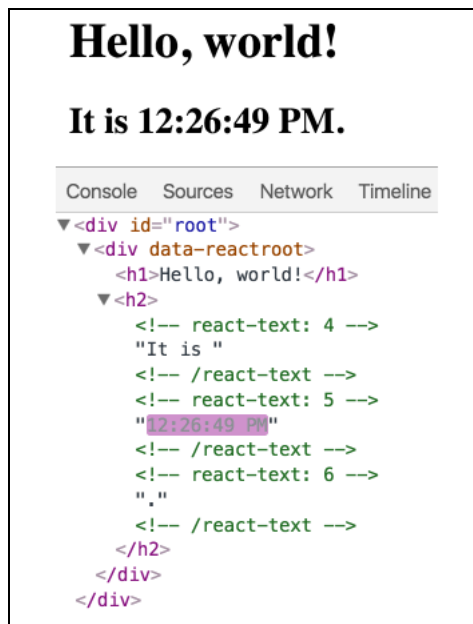


Рис. 10. Динамічна сторінка на основі React

Його часто використовують разом із фреймворками React чи Angular. Перш за все Redux – це контейнер для застосунків на основі JavaScript. Він допомагає оптимізувати код програм, сприяє їхньому налагодженню, має невеликий розмір та ідеально інтегрується із React.

## Висновок

Таким чином, у відповідності до зазначених аргументів можна зробити деякі висновки. Одним із головних є те, що технологія статичної генерації сторінок, наприклад JSP, є застарілою на даний час, хоча вона і може стати в нагоді для простих сайтів із мінімальними вимогами до динамічності чи швидкості роботи.

Такі сайти можуть дозволити собі повне перевантаження сторінки щораз, як відбувається зміна в її стані або дія користувача.

Тим не менш багато сучасних сайтів, веб-застосунків, інтернет-ресурсів потребують більшого від частини із інтерфейсом, тому тенденції значно змінюються, особливо враховуючи популярність REST-архітектури та модулю Redux, що дозволяє досконало “спілкування” між частиною користувацького інтерфейсу та серверною частиною застосунку.

Було розглянуто приклад сучасних засобів керування веб-сторінками у вигляді JavaScript фреймворків, а саме Vue, Angular, React. React був детальніше проаналізований і згідно більшості пунктів порівняння стає очевидною перевага більш сучасної технології.

Також стало очевидним, що сучасні JavaScript модулі та елементи досконало доповнюють один одного, через це будь-які нові технології можуть бути легко впроваджені до вже наявних модулів, що забезпечує ефективне оновлення програм.

Отже, обчислювальні потужності персональних комп'ютерів та серверів зростають, нові технології стають можливими до користування та розвитку. Тому вони стають популярнішими, що неодноразово підтверджується статистикою з усього світу.

Саме через це стає очевидною тенденція у цій сфері розробки програмного забезпечення і динамічні сторінки займають у ній найперше місце.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Difference between JavaScript and JSP <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-javascript-and-jsp/>
2. Difference Between JSP and JavaScript <https://www.educba.com/jsp-vs-javascript/>
3. Angular vs jsp vs react vs vue <https://www.npmtrends.com/angular-vs-jsp-vs-react-vs-vue>
4. Сравнение JSP и VueJS <https://dernasherbrezon.com/posts/compare-jsp-vuejs/>
5. Статистика пошуку за запитами про різні інструменти <https://trends.google.com/trends/explore?q=%2Fm%2F0bsn3,React,Angular,Vue>
6. Документація React.js <https://reactjs.org/>
7. Документація про Markdown <https://daringfireball.net/projects/markdown/syntax>
8. Документація Redux <https://redux.js.org/>

Received (Надійшла) 18.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.04.2021

## Advantages of dynamic web-pages over statically-generated ones

Artemii Vinokurov, Heorhii Molchanov

**Abstract.** The subject of research in the article is the methods of generating the presentation of content for users of web resources. The purpose of the work is to compare and analyze the pros and cons of the main approaches to creating visual web content for the users. **Conclusions:** modern web-site systems include an interface as the primary way to communicate with the user, so it should be flexible and convenient. Therefore, the interface is likely to change dynamically corresponding to user actions. At the same time, the computing power of modern devices used to access websites is high enough for fast and convenient display of content. Dynamic pages are also adapted to different end-user devices.

**Keywords:** HTML, CSS, JSP, Angular, Vue, Java, React, JavaScript, Redux, REST, C#, PHP, Python, Ruby.



G. Golovko, M. Borozdin, Y. Tokar

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltavam Ukraine

## THE NEED TO IMPLEMENT AUTOMATION AND INFORMATION SYSTEM IN THE MANAGEMENT OF THE RESTAURANT BUSINESS

**Abstract.** This article highlights the need and importance of using an information system in the modern restaurant business. The nature of information systems and the tasks they can perform are presented. The direction of introduction of information and communication technologies and automation in management activity of restaurants is considered. The dependence of the efficiency of the food establishment on the correctly automated work process is determined. It has been proven that the use of information systems is a necessary condition for modern restaurants and contributes to the adoption of strategic management decisions to increase competitiveness and create an appropriate and efficient infrastructure.

**Keywords:** system, information system, information technologies, management, restaurant business.

### Introduction

Today, the management of the restaurant business is a rapidly evolving trend, and information technology has become an integral part of it. They directly affect the progress and success of the institution. Execution of transactions, control and training of personnel, risk forecasting, work analysis, menu formation and production of own products - all these processes already need automation, because in this area reporting is needed. From the client's point of view automation of calculations, accessing the menu, list of promotions, writing complaints and suggestions is convenient and profitable, as it saves time.

**The research purpose.** Analyze the role of the information system for the restaurant network. Identify the features of the use of information systems in this area. Record potential improvements in the restaurant network after the development of an information system (increase the efficiency of food business management, accelerate the speed and quality of customer service).

**Literature review.** Every day in the subject of restaurant business the concept of expression "information system" is used more and more often. However, based on the thorough study, it was exactly determined that there is no generally accepted definition of an information system for the restaurant business. In addition, this issue is covered in the scientific works of such researchers as M. Bilukha [3], F. Butynets [4], A. Zagorodny [5], M. Korobov [6], A. Tsyutsyak [7] and others. After analyzing their publications, we can conclude that the problem of implementing automation and information technology in the process of restaurant business should be disclosed more widely, because it is still insufficiently covered.

**Analysis of existing information systems.** Let's consider the information systems of the restaurant business in Poltava on the Internet and identify the shortcomings that need to be addressed or improved.

1. "Viva olive" – a restaurant. After reviewing the site of this institution, it is determined that there is no possibility to place an order online and there are no images of the dishes offered by the institution.

2. "Peperonchino" – a cafe. The analysis was carried out and it was concluded that there is no own site of the institution, it is possible to place an order

only through other delivery services, and navigation is not user-friendly.

3. "Montana pizza" – a pizzeria. There are similar problems: the lack of its own website and the ability to place orders through other delivery services.

These restaurants clearly need to address problems and shortcomings. In turn, this will lead to a more successful business.

### Research results

Why do you really need a modern information system and automation of restaurant processes? Of course, in order to manage institutions more effectively, to get rid of possible abuses that cause losses, and to speed up customer service, thereby increasing the number of visitors. Automation provides a solid foundation for perfect, high quality and fast service, which will inevitably lead to the success of any restaurant [2]. After the introduction of the information system in the process of operation of the food establishment, the following advantages can be distinguished: acceptance of the order without errors because of the human factor's disappearance; transfer of the order in an automatic mode; increasing the quality of service; significantly higher speed of customer service; the ability to view the results of work at any time; probability of abuse of employees goes to zero.

The range of aspects of restaurant business management significantly expands with the introduction of equipment and software. The most important of them: analysis of the restaurant and risk forecasting in the process of its activities become more accurate and detailed; it becomes possible to continuously monitor all operations and access it at any time; the chances for the fastest introduction of the latest marketing methods and the latest service trends increase; the time for the most voluminous and time-consuming operations is reduced, table reservations can be tracked by customers, and the management system of promotions, bonuses and discounts becomes more flexible in daily use; the human factor in customer service is reduced to zero, so the service becomes better; the assessment of the work of the staff of the institution becomes more objective, as the process of providing services by each employee of the restaurant is monitored [1]. The issue of effective staff work is complex and requires careful monitoring of each

order and work of the staff of the institution. Inefficient management of the company's cash flows leads to its downfall, and in the long run - and a complete collapse. Therefore, in order for the company to remain profitable, there is an urgent need for automated systems that will allow you to track cash flows. By the way, it also makes it impossible to steal property by the company's staff.

By "successful restaurant" we mean an institution that not only offers a high level of service to its customers, but also organizes the coordinated work of staff [2]. The peculiarity of the main task solved by the restaurant business is that the visitor's order must be fulfilled as quickly as possible and at the same time with the highest quality. This, like nothing else, distinguishes the management of food establishments among other areas of business. Automation can help solve this problem. With its introduction into the work process, all operations are controlled at all times and performed with higher accuracy, as well as reduced customer service time and increased profits of the institution. The obvious advantages that can be distinguished in the automation of the restaurant over other similar competitors: the possibility of payment cards; the contactless payment's introduction; work with discount cards; reliable keeping management records, accounting for purchased products and meals consumed for different periods, which helps to create an optimal menu for visitors and for the management of the institution; accurate tracking of shelf life of various products; practical dialogue with partners and suppliers; operational planning of production; convenient reporting on all necessary issues; protection against financial crimes or abuses that cause material damage. Thanks to automation, the restaurant reaches a new level, and service is provided:

- increasing the speed of customer service;
- possibility of rapid and effective implementation in the process of modern management methods and operational centralized control of the restaurant business;
- reliable support of the base of regular visitors and registration of restaurant cards;
- flexibility of bonus and discount systems, and hence further expansion of the client base of the institution [8].

Modern enterprises need the latest management methods. Management decisions in a constantly changing dynamic environment require analysis, evaluation and forecasting of the internal development of the enterprise, as well as, of course, ensuring compliance of the external microenvironment, external macroenvironment and the results of corporate financial and economic activities. In turn, there are high demands on information and other types of business management. This is necessary for the operation and management of the restaurant, as well as for financial accounting. In order to determine the profitability of the enterprise and find the shortcomings of the financial management system, you need to consider the cost of production, part of which are the cost of purchasing goods and other costs of the organization [2]. Prevention of personnel abuse in the organization should begin with the creation of an accounting system under which all money paid by

customers will go to the owner of the organization. To organize such an accounting system, it is necessary to use personalized access to the system. For example, each waiter must have a unique identifier (plastic card, electronic key, fingerprint, etc.), which allows you to uniquely identify the user, thereby distinguishing access to information in the system (perform certain operations, change accounts). The facts of all canceled orders must be recorded in the log of suspicious transactions and monitored by the system administrator in the future. Only after the order information has been entered into the database, all invoices sent to the customer are printed and regular employees should be prohibited from making further changes [8].

Accounting for food companies is very specific, because it combines production and retail trade. The following types of product aspects should be considered and controlled in the production process: purchase of goods for sale. They are sometimes the raw material for production. For example, alcoholic beverages can be sold in their pure form or included in cocktails; use of semi-finished products. They are the result of production that is part of the food being sold, but is not a full-fledged object of sale. For example, minced meat is part of lasagna, cutlets and more.

Components of the institution in which the flow of goods and cash must be carefully monitored: a warehouse, where the responsible person is the secretary of the warehouse, who is responsible for receiving goods from external suppliers and distributing them to the kitchen and bar; own production, where the responsible person is the chef; bar, where the responsible bartender; the place of sale of finished products, where the process of settlement with the customer is controlled. The above covers both the cooking technique and the guidelines for marking raw materials. Any improvements in the technical specifications of the bookmarks as well as the cost of raw materials should be reflected in the measurement card.

Automation also allows you to track the movement of goods between different departments of the restaurant. The system enters vouchers related to the internal flow of goods, which rotate into the original unit and arrive at the recipient. An electronic copy of the cost card and the history of its changes can be stored in the database. So, you can track the change in the dynamics of raw materials, their cost and get a complete picture of the work process. An automated catering management system can not only solve the problem of efficient turnover and money accounts, but also organize specific means to attract customers. An example is the organization of the club system. The existence of an organized club system allows owners and visitors to provide many useful opportunities: to identify visitors and enter the club area; to create the system of the discounts and bonuses for regular customers; to attract new customers; to conduct market research; to create additional advertising space; to improve the image of the organization in the eyes of customers and competitors.

A typical organization has different levels of systems: operations, management, knowledge, and ach

functional area is of strategic importance. For example, the business function has a business function system, which logs daily business data and processes at the operational level of the team. The knowledge level system creates appropriate displays to demonstrate the company's products. The management-level system tracks monthly business data across all business lines, and report areas where sales exceed or lower expectations. The forecasting system forecasts business trends for five years of services of strategic level.

The new information system embodies best practices in technology management. They optimize business processes based on the latest developments in management theory and practice. Due to the use of such technologies, information has become an important part of the production process and has replaced traditional components: natural resources, labor and capital. Today, effective economic activity is based on the transformation of information, and the transformation of information is to ensure targeted and organized exchange of data (reception and transmission of information) with other organizations and staff. We can say that information helps the order and stability of the economic system.

Each service company has its own characteristics and differs from the industry enterprise. The main and obligatory conditions of providing services are directly related to the customer. In this regard, it is necessary to use a management system for the following: the customer. Information technologies of business management in the field of services are not so purposeful in technology, as well as in industrial communication [8]. Not as a business engage in the production of products, and its information components are concentrated in the internal need, the information system of enterprises in the service sector should be mainly focused on improving service for different customers. For these companies, the best combination of information systems is system information

environment and system of interaction with clients. Data analyzed The information infrastructure of the enterprise is integrated by a system of analysts. The system improves the efficiency and capitalization of enterprises through the use of information technology. There are many more installations than the first two systems, but at the same time their absence will have such an impact that this cannot be achieved.

Modern information technologies contribute to the transformation of management itself. The main content is not a set of technological innovations, but a set of world experience of management and decision-making, which is reflected in the relevant tools using modern methods of information processing and storage [9].

### Conclusions

The main purpose of the information system for the catering industry is to improve the quality of customer service and optimize the work of the institution. The result of automation is to improve the quality of service and reputation of the organization; providing fast order processing and visitor service; strengthening coordination and control of staff work; explanation of changes in material value and changes in goods; reduction of time for search and analysis of information. An analytical review of the literature on this issue, assessed the impact of information technology on the restaurant, analyzed the use of information technology and automation in the field of catering, analyzed recent research and publications and substantiated the problem.

Thus, the information system of service in the restaurant business is an indispensable tool in the work of any restaurant. The actual value of the study is to determine the benefits of automation and information system, namely: saving labor and financial resources, as well as improving the efficiency, speed and quality of customer service and minimizing employee abuse.

### REFERENCES

1. Glazunov V. N. Management of enterprise income: practical recommendations. Moscow: Economy, 2003. 137 p.
2. Veselova O. S. Introduction of centralized information systems as a way of reengineering BP. M.: Peter, 2007. 12 p.
3. Bilukha M., Mykytenko T. Methodology of accounting in the electronic environment. *Accounting and audit*. 2011. No. 8. P. 50-54.
4. Butynets F. F. Theory of Accounting [Text]: Textbook. for students. Zhytomyr, 2000. 356 p.
5. Zagorodnyy A. G. Accounting policy and its influence on the financial results of the EP. *Finance of Ukraine*. 2010. No. 1. P. 54-60.
6. Korobov M. Y. Financial and economic analysis of enterprises [Text]: textbook. K.: TV "Knowledge", KOO, 2008. - 378p.
7. Tsyutsyak A. Organization of accounting and analytical process of restaurant enterprises in terms of automated information processing. *Visnyk of Khmelnytsky National University*. 2012. No. 1. P.60-64.
8. Use of information and computer technologies for automation of restaurant business, available at: <https://www.logsign.com/>
9. Goryaev Y., Karabutov N. N. A. Information technologies of management. Moscow: MIEP, 2006. 102 p.

Received (Надійшла) 26.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.05.2021

### Необхідність впровадження автоматизації та інформаційної системи в процес управління ресторанним бізнесом

Г. Головка, М. Бороздін, Ю. Токар

**Анотація.** У цій статті висвітлено необхідність і важливість використання інформаційної системи в діяльності сучасного ресторанного бізнесу. Представлено природу інформаційних систем та завдання, які вони можуть виконувати. Розглянуто напрямки впровадження інформаційно-комунікаційних технологій та автоматизації в управлінську діяльність ресторанів. Визначено залежність ефективності роботи закладу харчування від правильно автоматизованого процесу роботи. Фактично доведено, що використання інформаційних систем є необхідною умовою сучасних ресторанів і сприяє прийняттю обґрунтованих стратегічних управлінських рішень для підвищення конкурентоспроможності та створення відповідної та ефективної інфраструктури.

**Ключові слова:** системи, інформаційні системи, інформаційні технології, управління, ресторанний бізнес.

Zhang Liqiang<sup>1</sup>, Cao Weiling<sup>1</sup>, Viacheslav Davydov<sup>2</sup>, Veronika Brechko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Neijiang Normal University, Neijiang, China

<sup>2</sup>National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

## ANALYSIS AND COMPARATIVE RESEARCH OF THE MAIN APPROACHES TO THE MATHEMATICAL FORMALIZATION OF THE PENETRATION TESTING PROCESS

**Abstract.** In dynamic models, threats (vulnerabilities) can be viewed as a flow of temporary events. If the intervals of realized cyber threats are recorded, then a continuous log-list of events related to software security can be formed. In some cases and models, only the number of realized cyber threats for an arbitrary time interval can be recorded. In this case, the software response to threats can be represented only at discrete points. In static models, the implementation of cyber threats is not related to time, but the dependence of the number of errors or the number of implemented test cases (models by error area) on the characteristics of the input data (models by data area) is taken into account. The article analyzes the methods of mathematical formalization of the software penetration testing process. This software testing method is one of many approaches to testing the security of computer systems. The article substantiates the importance of the processes of preliminary prototyping and mathematical formalization. The classification is carried out and the advantages and disadvantages of the main approaches of mathematical modeling are highlighted. The list and main characteristics of dynamic and static models are presented. One of the negative factors of formalization is indicated - the neglect of the factors of a priori uncertainty in the safety parameters in static models.

**Keywords:** information security; vulnerable software; security testing; penetration.

### Introduction

A mathematical model constructing process – a formalized description of a complex of factors that significantly affect the state and/or functioning of the object under research, and corresponding to this description of information support - is usually called mathematical modeling. The practical usefulness of mathematical modeling lies in the possibility of obtaining information about the qualitative properties and quantitative characteristics of the object under research without conducting (often complex or expensive) experiments in nature, which may justify the costs of overcoming difficulties arising in the development process or when trying to use mathematical models.

The main difficulty that one has to face in mathematical modeling is to ensure the adequacy of this model to the object under research. The user needs to find out how accurately this model reflects the real situation and how reliable quantitative estimates can be obtained in the process of working with this model. The experience of mathematical modeling of information processes, accumulated over the past few decades, shows that the problem of adequacy in a number of cases can be successfully solved. An example of this is the systems of computer simulation of numerous software and hardware components of computing facilities.

However, on the other hand, attempts to apply mathematical modeling methods to research such a complex and important process as the process of ensuring safety, convincingly demonstrate that, despite the natural desire to take into account in the model all the factors that significantly affect the functioning of the object under research, it is extremely difficult to achieve this.

In cases where the construction of a mathematical model that takes into account with an acceptable degree of accuracy all factors that are essential for the object under research is impossible, one has to abandon the standard methodology for using the model and try to act

in other ways based on changing the formulations of the problems being solved and involving the user in the process of finding solutions.

In this situation, it is very important to make a reasoned choice of methods of mathematical formalization of the processes of ensuring the security of computer systems in general and software in particular.

**The purpose of this article** is to analyze and comparatively research the main approaches to the mathematical formalization of one of the software security testing methods, the software penetration testing process.

*Literature analysis* [1-10] has shown that currently there are many approaches to the mathematical formalization of the software penetration testing process. They are based on the well-known theories of computer engineering [8], queuing [4], neural networks [1], fuzzy logic [3], graph models and combinatorial calculation methods [9], etc. In addition, the means for solving optimization problems formalized on the basis of these models have been developed. These are, first of all, analytical methods, methods of mathematical programming, heuristic methods, etc. [10]. Let us analyze the approaches of mathematical modeling most often used in practice, which are adapted to varying degrees to modern requirements in the formalization of software security testing processes.

One of the software development leaders is Microsoft. In this situation, it is natural to start the review with an analysis of the modeling approaches offered by this company. In [6], the authors considered the Microsoft Spec Explorer tools. This system is based on the control of post and preconditions, described in special languages as an addition to the program code. The proposed approach is difficult to master, but powerful enough in capable hands, and is intended mainly for academic purposes use or by testing specialists at the level of the development and research department with sufficient knowledge of mathematical formalization methods. Another way of classifying software assessment of method-

ologies is presented in the works [5]. In these works, it is proposed to divide a number of approaches of mathematical formalization into the following testing groups: dynamic (allowing to assess the indicators of software technological security), static (allowing to obtain estimates of indicators of completeness and complexity of testing) models. At the same time, adapting the presented materials to the topic of software security testing, the following can be noted. In dynamic models, threats (vulnerabilities) can be viewed as a flow of temporary events. If the intervals of realized cyber threats are recorded, then a continuous log-list of events related to software security can be formed. In some cases and models, only the number of realized cyber threats for an arbitrary time interval can be recorded. In this case, the software response to threats can be represented only at discrete points. In static models, the implementation of cyber threats is not related to time,

but the dependence of the number of errors or the number of implemented test cases (models by error area) on the characteristics of the input data (models by data area) is taken into account.

The list and main characteristics of dynamic and static models are presented in table 1 (1 – Markov exponential models: JM-model, Xui-model, Shanthikumar-model, Buchhianico-model; 2 – Semi-Markov models: SW-model, Hyperbolic model, Sukert-model; 3 – Heterogeneous Markov NHPP models (Duane model, Gompertz model, Goel-Okumoto model, Schneidewind model, Weibull model, Yamada exponential model, S-shaped Rayleigh model, Pareto model, Xie-logarithmic model, parabolic model, structural Nelson model, etc.; 4 – Software complexity models: metric Halstead error model, multivariate complexity model; 5 – Software testing completeness models: Mills model, Lipov model).

Table 1 – List and main characteristics of dynamic and static models

No.	Short description	Mathematical formalization technologies background	Advantages, disadvantages
1	2	3	4
<b>Dynamic</b>			
1	Based on the assumptions that during software testing, the duration of time intervals between the detection of two errors has an exponential distribution with a failure rate proportional to the number of undetected errors.	The distribution density function of the $i$ -th error detection time, counted from the moment of detection of the $(i - 1)$ -th error, has the form: $p(t_i) = \lambda_i e^{-\lambda_i t_i}$ , where $\lambda_i$ is the intensity of errors, which is proportional to the number of not yet detected errors in the program (varies depending on the type of model)	Advantages: ease of finding the main characteristics. Disadvantages: large increase in computations due to the inputting of states durations changing; the need to evaluate a large number of new parameters associated with each state.
2	Based on the Rayleigh model of software reliability growth. It is assumed that the error rate is proportional not only to the number of undetected software errors, but also to the debugging time interval:	Security error rate $\lambda_i = \phi(N - (i - 1))t_i$ , where $N$ is the number of errors originally present in the program; $\phi$ – the proportionality factor, interpreted as the intensity of the error detection, $t_i$ – the interval between $(i - 1)$ -th and $i$ -th security errors. Rayleigh distribution with the following density function: $p(t_i) = \phi(N - (i - 1)) \times t_i e^{-\phi(N - (i - 1))t_i^2/2}$	Advantages: accuracy of simulation results. Disadvantages: the complexity of building a model of semi-Markov processes. Lack of a unified approach to the use of distribution laws when describing individual transient processes.
3	The model assumes that the number of errors that appear per unit of time are independent random variables distributed according to Poisson's law with a flow rate proportional to the expected number of errors remaining in the program at a given time. In contrast to JM – and SW – like convex models, here an additional assumption is made about the S – shaped dependence of the errors number on the testing time.	The error number function is given by the following formula: $m(t) = a(1 - (1 + gt)e^{-gt})$ where $a$ is a coefficient that characterizes the number of expected software errors, $g$ – error detection intensity factor. Accordingly, the intensity of the error is determined as follows: $\lambda(t) = ag^2 t e^{-gt}$	Advantages: Accuracy of simulation results. A simplicity in finding a formula for the probabilities that a certain number of security errors will be detected and localized (or not) in a given time. Disadvantages: A large increase in the complexity of the model structure with small changes in the input conditions. The complexity of the mathematical representation of distribution laws in the description of individual transient processes.
<b>Static</b>			
4	The complexity of the program is proposed to consider as a set of intellectual efforts (solving elementary problems by a person before an error occurs) when coding a text in a certain programming language.	Difficulty is estimated as $E = \tilde{N} \log_2(\mu/L) = \eta_1 N_1 N \log_2 \mu / (2\mu_2)$ where $\tilde{N} = \mu_1 \log_2 \mu_1 + \mu_2 \log_2 \mu_2$ – theoretical program length, $\mu = \mu_1 + \mu_2$ – the number of unique operators and operands of the programming language, $L = \frac{2\mu_2}{\mu_1 N_2}$ – quality of programming, $N = N_1 + N_2$ – the number of calls to operators and operands in the software.	Advantages: Software security assessment based on the results of software complexity assessment. Disadvantages: The presence of subjective assessment factors, the possibility of obtaining the effect of the "curse of dimension" with a large number of factors or a non-linear form of the approximating polynomial.

End of Table 1

1	2	3	4
5	Models for assessing the completeness of software testing are based on methods of independent introduction and detection of test errors and methods of conducting independent examinations. Errors are introduced randomly and recorded in the man-made error log.	The reliability of the statement that there are $k$ errors in the program is as follows: $R(k, S) = \begin{cases} 1, & \text{if } n > k \\ S/(S + k + 1), & \text{if } n \leq k \end{cases}$ where $S$ – number of errors introduced, $k$ – number of real errors found.	Advantages: Software security assessment based on the results of software completeness assessment. Disadvantages: A simplified look at the error detection process using a different number of tests. Neglecting factors of a priori uncertainty in software security parameters.

Among the intelligent approaches of the mathematical formalization of processes associated with the software life cycle, the direction based on neural networks is worth mentioning [1]. This is connected with specifics of the functioning of computer systems, which are human-machine systems.

Neural networks are an alternative to the statistical analysis components of anomaly detection systems. Neural networks make it possible to identify common test indicators, identify statistically significant deviations from the requirements for software quality and security. They are applicable as a statistical error detection system because of their self-learning ability. Moreover, a neural network can be configured so that it will further train on its own, constantly reacting to the slightest changes in the software. Neural networks require less intervention from penetration testers.

The studies carried out showed that at present, when modeling, software is presented in the form of a recurrent system that solves a number of specific tasks. In this case, the energy function acts as a system quality indicator:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_{j \neq i} w_{ij} x_i x_j,$$

where  $w_{ij}$  is a weight coefficient between the  $i$ -th and  $j$ -th neurons;  $x_i, x_j$  are  $X$  vector components (input data of the system),

and an expression of the form is used as a criterion for solving the problem of access distribution and data protection in a computer network:

$$E = \min \left( -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1, k \neq i}^N \sum_{j=1}^{N_p(i)} \sum_{\ell=1}^{N_p(k)} |P_{ij} \cap P_{k\ell}| x_i^j x_k^\ell \right),$$

where  $P_{ij}$  is  $j$ -th resource between source and destination;  $|P_{ij} \cap P_{k\ell}|$  – the number of nodes on a computer network which share routes  $P_{ij}$ , and  $P_{k\ell}$ ;  $x_i^j = 1$ , if chosen  $P_{ij}$ , and  $x_i^j = 0$  otherwise;  $N_p(i)$  – number of access directions variants defined between the source and the destination.

Analysis of works in the field of data protection [1, 3, 8, 10] showed that this direction of modeling has a number of advantages associated with taking into account the specifics of external influences and the possibility of self-learning.

However, the studies of the software testing process models, presented in the form of neural networks [1], along with their advantages, have also shown disadvantages associated with the inevitable time spent on the learning process when building a model and, as a consequence, "conservatism" in relation to dynamic changes in the process of managing the system software development. Therefore, it is advisable to use these models when modeling individual components or structural elements of intelligent decision-making systems or to use them as the basis for the process of developing practical recommendations for managers.

Studies of models based on the apparatus of controlled random processes made it possible to determine two specific areas of software testing implemented by this approach: software technological security and debugging models which allow assessing the indicators of software technological security depending on runs on specified input data areas and subsequent software modifications. [2].

Among the advantages of this modeling approach, one should highlight the possibility of its implementation in the form of a link monitor and an audit system. In addition, in complex, multifactorial systems, the use of this modeling approach makes it possible to analyze individual components without the danger of reducing the accuracy of the modeling results as a whole.

At the same time, mathematical models of the software development process, taking into account the peculiarities of the modern SCRUM methodology and the factors of increasing security requirements, need a number of improvements.

In the automaton control model, the software penetration testing technology is represented as a deterministic automaton, the input of which receives a sequence of user commands. The main elements of the automaton model are: a set of system states  $\{V\}$ , many users  $\{U\}$ , multiple access matrices  $\{M\}$ , many user commands changing the access matrix  $\{CC\}$ , many user commands changing state  $\{VC\}$ , set of output values  $\{Out\}$ .

Among the advantages of this modeling approach, the variety of testing approaches should be mentioned. They determine not only the rules for the distribution of tasks, but also the configuration, the order of interaction between objects and subjects of the software security testing process.

Among the disadvantages of automatic models, we note the complexity of their practical implementation in



the case of taking into account the whole variety of stages, methods and tools for software security testing. In addition, the problem how this direction of modeling should take into consideration the security factor is also not solved. Thus, as a result of the analysis and comparative studies of the existing approaches to the mathematical formalization of the software penetration testing process, a number of characteristic features, advantages and disadvantages of the existing areas of analysis and synthesis of these processes were identified.

The research of the main modeling approaches showed that in most models associated with the implementation of software security testing technology (especially dynamic models) there is no unified approach to the use of distribution laws when describing individual transient processes.

Moreover, the neglect of the factors of a priori uncertainty in the security parameters in static models is also a common negative factor for formalization. In addition, the lack of consideration in models of dynamic changes during software development (SCRUM features) requires appropriate research and development.

### Conclusions

The main directions and approaches of mathematical modeling are analyzed, promising directions of mathematical formalization of software security testing processes are highlighted.

The expediency of improving the existing methods of software penetration testing by synthesizing a new software testing method taking into account increased security requirements is indicated.

### REFERENCES

1. Adetunji Adebisi A Neural Network Based Security Tool for Analyzing Software // Adetunji Adebisi, Johnnes Arreymbi, Chris Imafidon / Technological Innovation for the Internet of Things 4th IFIP WG 5.5/SOCOLNET Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems, DoCEIS 2013, Costa de Caparica, Portugal, April 15-17, 2013. Proceedings
2. Daniel Dalalana Bertoglio Overview and open issues on penetration test // Daniel Dalalana Bertoglio, Avelino Francisco Zorzo / Journal of the Brazilian Computer Society (2017) 23:2 DOI [10.1186/s13173-017-0051-1](https://doi.org/10.1186/s13173-017-0051-1)
3. Kostadinov Dimitar Introduction: Intelligence Gathering & Its Relationship to the Penetration Testing Process [Electronic resource]. URL: <https://resources.infosecinstitute.com/penetration-testing-intelligence-gathering>
4. Mukhin, V., Kuchuk, N., Kosenko, N., Kuchuk, H. and Kosenko, V. Decomposition Method for Synthesizing the Computer System Architecture, Advances in Intelligent Systems and Computing, AISC, vol. 938, pp 289-300, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16621-2_27)
5. Markov A.S. Models for evaluating and planning software tests for safety requirements information // Bulletin of MSTU im. N.E. Bauman. Ser. "Instrument Engineering", 2011. Special issue "Technical means and systems of information protection". S. 90-103.
6. Model-based Testing with SpecExplorer [Electronic resource]. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/model-based-testing-with-specexplorer/>
7. Nickerson C. and other. The Penetration Testing Execution Standard / Chris Nickerson, Dave Kennedy, Chris John Riley, Eric Smith, Iftach Ian Amit, Andrew Rabie, Stefan Friedli, Justin Searle, Brandon Knight, Chris Gates, Joe McCray, Carlos Perez, John Strand, Steve Tornio, Nick Percoco, Dave Shackelford, Val Smith, Robin Wood, Wim Remes, Rick Hayes. 30.04.2012 [Electronic resource]. URL: [http://www.pentest-standard.org/index.php/PTES\\_Technical\\_Guidelines](http://www.pentest-standard.org/index.php/PTES_Technical_Guidelines)
8. Sanchez, M.A. Computer Science and Engineering—Theory and Applications / Sanchez, M.A., Aguilar, L., Castañón-Puga, M., Rodríguez Díaz, A. 2018. – 101 p.
9. Semenov, S., Sira, O., Kuchuk, N. Development of graphical analytical models for the software security testing algorithm / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol 2, No 4 (92), pp. 39-46, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127210>
10. Study A Penetration Testing Model / Germany, Bonn. 111 p. [Electronic resource]. – URL: [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/EN/BSI/Publications/Studies/Penetration/penetration\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/EN/BSI/Publications/Studies/Penetration/penetration_pdf.pdf?__blob=publicationFile)

Received (Надійшла) 21.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 07.04.2021

### Аналіз і порівняльне дослідження основних підходів математичної формалізації процесу тестування на проникнення

Zhang Liqiang, Cao Weiling, В. В. Давидов, В. О. Бречко

**Анотація.** У динамічних моделях загрози (уразливості) Software можна розглядати як потік тимчасових подій. Якщо фіксуються інтервали реалізованих кіберзагроз, то може сформуватися безперервний log-лист подій, відносячись до безпеки Software. У ряді випадків і моделей може фіксуватися тільки число реалізованих кіберзагроз за довільний інтервал часу. У цьому випадку реакція Software на загрози може бути представлена тільки в дискретних точках. У статичних моделях реалізацію кіберзагроз не пов'язують з часом, при цьому враховують закономірності кількості помилок або число реалізованих тест-кейсів (моделі по області помилок) від характеристики вхідних даних (моделі по області даних). У статті проаналізовано методи математичної формалізації процесу тестування на проникнення програмного забезпечення. Цей метод тестування програмного забезпечення є одним із багатьох підходів до перевірки безпеки комп'ютерних систем. У статті обгрунтовано важливість процесів попереднього прототипування та математичної формалізації. Проведено класифікацію та висвітлено переваги та недоліки основних підходів математичного моделювання. Представлено перелік та основні характеристики динамічних та статичних моделей. Вказується один із негативних факторів формалізації - нехтування факторами апріорної невизначеності параметрів безпеки в статичних моделях.

**Ключові слова:** інформаційна безпека; вразливе програмне забезпечення; тестування безпеки, проникнення.



Ihor Ivanisenko

Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine

## DYNAMIC METHOD OF DISTRIBUTED SYSTEM LOAD BALANCING EVALUATE

**Abstract.** **Subject of study** is method of estimating resources of the distributed system like a part of scientific problem related to the load balancing and efficient utilization of resources of the distributed system. The paper presents a method of estimating resources of the distributed system, such as network nodes, the processor, memory, and band-width. The proposed method allows to calculate the loading of each node separately in a distributed system and the entire system. Classes of service flows taken into account in the calculation of these resources loading. The complex value of imbalance of load server entered, which taking into account the weight coefficients for processor, memory, and network bandwidth. These weight coefficients allow to select the importance of each network resource (CPU, memory and bandwidth) compared with each other. Also, this method allows to calculate the imbalance of the system servers. Using the method in load balancing allows to distribute requests by servers such way that deviation of the load servers from the average value was minimal, that allow to provide higher system performance parameters (utilization efficiency) and faster processing flows. **Conclusions.** The work proposed a solution to the actual scientific problem of assessing the load of nodes of a distributed system. The proposed method is based on calculating the processor load, memory load, and channel bandwidth by flows of different service classes. Also introduced a complex value of server load imbalance, taking into account weights for processor, memory and network bandwidth. Accordingly, this method allows you to calculate the imbalance of all servers in the system, the average operating time for various balancing algorithms and the efficiency of using the system resources.

**Keywords:** load balancing; distributed system; multifractal traffic; resource utilization; self-similar flow; imbalance.

### Introduction

**Problem formulation in general form.** Currently, along with the systematic increase in data transmission rates in telecommunications, the share of interactive traffic, which is extremely sensitive to the parameters of the transportation environment, is increasing. To provide the required amount of resources for the transmission of various types of traffic that impose different requirements on the characteristics of the telecommunication network, various mechanisms for ensuring QoS (Quality of service) are used. One of such mechanisms is load balancing [1-3].

The load balancing system solves the problem of ensuring the quality of service and increasing the performance of distributed systems due to the optimal distribution of tasks between the nodes of the computing system. For the most complete use of all available resources of a distributed system, various methods for assessing the load of nodes and the system as a whole are used.

Assessment of the load of a computational node can be done in several ways. One of the analytical methods, which consists in an approximate estimate of the load of each object based on the data on the received tasks. The advantage of the analytical method is that it can accurately estimate the complexity of the problem. The disadvantage of this method is that it can be rather inaccurate if the model for estimating the speed of task execution is inaccurate.

Another way to collect load data is to measure the load of nodes. Most modern machines are equipped with time counters (accurate to microseconds) that can be used to measure the time taken to complete each task.

The advantage of this method is that it is accurate in most cases. The disadvantages include the following: balancing strategies based on this method take into

account the past distribution of loads. If the complexity of tasks changes in an unpredictable way, then the method will be inaccurate.

The most famous studies in the field of balancing, theoretical research and development of the fundamental foundations of load distribution, in the creation of a mathematical apparatus, models and control methods for load distribution in distributed systems, were carried out by such scientists as E.I. Ignatenko [2], V.N. Tarasov [3], F. Wang [4], V. Cardellini [1, 5], S. Keshav [6], Xing-Guo Luo, Xing-Ming Zhang [7], Hisao Kameda, Lie Li [8], and many other scientists working on load balancing problems.

**The aim of the paper** is to develop a method for calculating the load of nodes and the imbalance of a distributed system, based on the estimation of the load of the processor, memory and channel bandwidth.

**The analysis of the previous investigations and publications.** The task of load balancing in a distributed info-communication system is, based on a set of tasks involving the calculation and transmission of data, and server systems of different capacity, to find a distribution of tasks on servers that provides approximately the same computational load of each server and minimum transmission costs data. To perform this task, various methods and algorithms of load balancing can be used, which take into account the estimates of the load of the computing node.

The most famous research in the field of load management in distributed systems, balancing, theoretical research and development of fundamental foundations of load distribution, in the creation of mathematical apparatus, models and control methods for load distribution were engaged in such scientists as: E.I. Ignatenko, VN Tarasov, F. Wang, V. Cardellini, Xing-Guo Luo, Hisao Kameda, H. Mehta, P. Kanungo, M. Casalicchio, Y.S. Hong, as well as other researchers working on load balancing problems.

Scientists such as S. Keshav, O. Elzeki, M. Reshad, H. Chen, Y. Hu, Shamsollah Ghanbari, Ratan Mishra, Dhinesh Babu, and many others have developed and improved load balancing algorithms.

Experimental research in recent decades has shown that traffic in many multiservice computer networks has self-similar (fractal) properties. The reason for this effect is the distribution of files on the servers, their size, typical user behavior and is largely due to changes in network resources and network topology.

Self-similar traffic causes significant delays and packet losses, even if the total intensity of all flows is far from the maximum allowable values.

There are a large number of publications devoted to the analysis of fractal properties of traffic. Self-similar properties of information flows are found in local and global networks, in particular in Ethernet traffic, ATM, TCP, IP, VoIP applications. K. Park, W. Willinger, P. Abry, M. Taqqu, I. Norros, Potapov A.A., Tsybakov B.S., Shelukhin A.I.

The presence of self-similarity properties in the information flows transmitted by customers significantly affects the efficiency of distributed systems. This plays a particularly important role in the operation of services that provide the transmission of multimedia traffic and real-time traffic. Thus, the task of developing and analyzing load balancing methods that take into account the self-similarity of traffic and loading of each node and the entire distributed system is relevant.

### Load balancing method proposed approach

The problem of balancing computational load arises for several main reasons [1, 5, 8]:

- structure of a distributed application is heterogeneous, different logical processes require different computing power;

- structure of a distributed system is also heterogeneous, i.e. different computing nodes have different performance;

- structure of inter-node interaction is heterogeneous, because communication lines connecting nodes can have different bandwidth characteristics.

Depending on the task, you can use static or dynamic balancing [9]. Static balancing is performed before tasks start. However, preliminary allocation of logical processes to processors (servers) has no effect. This is due to the variability of the computing environment (the node may fail), the busyness of the node with other calculations.

One way or another, the gain from distributing logical processes across servers in order to perform parallel processing becomes ineffective. Dynamic balancing provides for the distribution of the computational load on the nodes during the execution of tasks. The software that implements dynamic balancing determines: load of computational nodes; throughput of communication lines; amount of free memory; the frequency of message exchanges between logical task processes, etc. Based on the collected data on tasks and the computing environment, a decision is made on the

distribution of tasks between network nodes.

The goal of load balancing can be formulated as follows: based on a set of tasks, including computation and data transfer, and a network of servers of a certain topology, find such a distribution of tasks among servers that provides approximately equal computational load of servers and minimal data transfer costs.

Usually, a practical and complete solution to the load balancing problem consists of four stages [3, 5, 9, 16]: 1) estimation of the load of computational nodes; 2) initiation of load balancing; 3) making decisions on balancing; 4) distribution of tasks.

Let's describe with more details each stage of balancing.

#### 1. Assessment of the system load.

At this stage, the load on each server is calculated by calculating the average utilization of the processor, memory, network bandwidth of the  $i$ -th server. The obtained information about the load is used for the balancing process, firstly, to determine the occurrence of an imbalance, and secondly, to determine a new distribution of tasks by calculating the amount of work required to move tasks. Hence, the quality of load balancing work directly depends on the accuracy and completeness of the information.

#### 2. Initiation.

Performing load balancing too often can cause tasks to slow down. The cost of balancing itself may outweigh the potential benefits of balancing it. Therefore, for the productivity of balancing, it is necessary to somehow determine the moment of its initialization. To do this, you should: determine the moment when the load imbalance occurs; determine the degree of need for balancing by comparing the possible benefits of its implementation and the cost of it.

Load imbalance can be determined synchronously and asynchronously. With synchronous imbalance detection, all processors (servers on the network) interrupt their work at certain times of synchronization and determine the load imbalance by comparing the load of an individual processor with the total average load. With asynchronous imbalance detection, each server keeps a history of its load. In this case, the time of synchronization to determine the degree of imbalance absence.

The amount of imbalance is calculated by a background process running in parallel with the tasks.

#### 3. Making decisions in balancing process.

Most of the strategies for dynamic load balancing can be attributed to a class of centralized or a class of fully distributed. With a centralized strategy, the balancer collects global information about the state of the entire computing system and decides to move tasks for each of the servers. A fully distributed strategy runs a load balancing algorithm on each server, exchanging state information with other servers. Tasks are moved only between neighboring processors.

#### 4. Distribution of tasks.

There are many balancing (task distribution) algorithms. However, each of the algorithms has both advantages and disadvantages [10-16]. The most

commonly used load balancing algorithms are the following: Round Robin Scheduling [6, 16], Max-Min Algorithm [5], Compare and Balance [6] and others. You can choose the most suitable algorithm depending on the tasks at hand.

Let's take a closer look at the load balancing method, which takes into account the multifractal properties of additive traffic, and the calculation of the imbalance of resources of the distributed system, which allows to increase the use of system resources by directing heterogeneous information flows to less loaded resources.

Based on the multi-fractal properties of incoming traffic, a dynamic method of balancing traffic is proposed [15]. Depending on the changes in the parameters of the input stream, various methods of traffic management are used. Here is a step-by-step description of the dynamic load balancing method:

Incoming streams are aggregated and processed in accordance with the queue policy, creating a single flow that has characteristics

$$V = \{\lambda, h, \mu_{qs}\}.$$

1. In the traffic that enters the balancer, a "window" X of fixed length T is allocated.

2. We find traffic intensity, the selective value of the function of the generalized Hurst index  $h(q)$ , the Hurst parameter value  $H = h(2)$ , and the range of values of the generalized Hurst index  $\Delta h = h(q_{\min}) - h(q_{\max})$  of the segment of traffic in the selected "window".

3. We collect and analyze statistical information by servers and channels: average rate of use of bandwidth  $Net_i^{ki}$  for the time period T, server status  $CPU_i^{ni}$ ,  $RAM_i^r$ , average CPU load, and average usage rate of i-server's memory over a period of time T.

4. Based on the multi-fractal properties of the traffic and the values of the laboriousness of the queries, we calculate the set of vectors of the required resources

$$\mu_{qs}^{new} = (CPU, Net, RAM)$$

for each qs-class of traffic:

$$\mu_{qs}^{new} = \begin{cases} \mu_{qs}, & \text{if } H \leq 0,5; \\ \mu_{qs} + (H - 0,5)\mu_0, & \text{if } 0,5 < H < 0,9, \Delta h \leq 0,4; \\ \mu_{qs} + (H - 0,5)(\Delta h - 0,4)\mu_0, & \text{if } 0,5 < H < 0,9, 0,4 < \Delta h < 1; \\ \mu_{qs} + \mu_0, & \text{if } H \geq 0,9 \text{ or } H > 0,5, \Delta h \geq 1, \end{cases}$$

where  $\mu_{qs}$  it is determined in accordance with the class of service and the necessary resources, the value  $\mu_0$  is selected by the network administrator, taking into account the network status. To reflect the change in the multi-fractal properties of flows, the vectors of the required resources  $\mu_{qs}^{new}$  are updated at regular intervals and recalculated according to the formula.

The number of required resources does not change ( $\mu_{qs}^{new} = \mu_{qs}$ ) if the traffic is a regular Poisson stream ( $H = 0.5$ ) or has anti-spam properties ( $H < 0.5$ ). With meaning  $0.5 < H < 0.9$  and small spread of data ( $\Delta h \leq 0.4$ ) the value  $\mu_{qs}$  increases in proportion to the value of the Hurst index. When the Hurst index  $0.5 < H < 0.9$  and the large data scatter ( $0.4 < \Delta h < 1$ ) value  $\mu_{qs}$  increases, it is proportional to both characteristics.

The number of required resources with the maximum value  $\mu_{qs} + \mu_0$  is obtained with the value  $H \geq 0.9$  or with persistent traffic ( $H > 0.5$ ) with a range of values of the generalized Hurst index  $\Delta h \geq 1$ . After transferring the cost of all routes, the message about the state of the paths is sent between the routers.

5. We calculate the distribution of streams by servers based on the listed streams of servers based on the listed values of labor intensity, intensity of traffic, and the state of the server load and communication channels.

6. Based on the data received, the server load is determined in the next step.

7. Distribute traffic to servers, according to the algorithm of balancing within each class of flow.

8. If all traffic could not be distributed, then we allocate the remaining traffic among the amount of resources available:

$$CPU_i^n(T), RAM_i^r(T), Net_i^k(T).$$

The revaluation is not taken into account by the algorithm, because it does not make any significant changes.

9. We collect data on server's loading

$$CPU_i^n(T), RAM_i^r(T), Net_i^k(T)$$

and transfer them to the load balancing system to calculate the new distribution of flows.

10. Shift the forward "window" X of length T to the specified shift value  $\Delta T$ ; we analyze the traffic and calculate the next value of server load.

The developed load balancing method should provide a statically uniform distribution of load on the servers, high performance, throughput, fault-tolerance (automatically detecting node failure and redistributing the flow of data among the remaining) and low response time, amount of service information, number of lost data.

### Conclusions and directions of future investigation

In the paper proposed a solution to the actual scientific problem of assessing the load of nodes of a distributed system.

The proposed method is based on calculating the processor, memory and channel bandwidth by streams of different classes service.

Also introduced a complex value of the server load imbalance, which takes into account processor, memory and network bandwidth weights.

Accordingly, this method allows you to calculate the imbalance of all system servers, average operating time for various algorithms balancing and efficient use of system resources.

In future we are going to expand number of distributed system involved nodes and modify this method according its physical characteristics.

## REFERENCES

1. L. Kirichenko, I. Ivanisenko, T. Radivilova, Investigation of Self-similar Properties of Additive Data Traffic, CSIT-2015 X-th International Scientific and Technical Conference «Computer science and information technologies», Lviv, UKRAINE, 14 – 17 September, 2015, pp. 169-172
2. O. I. Sheluchin, S. M. Smolskiy, A. V. Osin, Self-Similar Processes in Telecommunications, New York : John Wiley & Sons, 2007, pp. 320.
3. Игнатенко Е.И., Бессараб В.И., Дегтяренко И.В. Адаптивный алгоритм мониторинга загрузки сети кластера в системе балансировки нагрузки. // Наукові праці ДонНТУ. – Вип. 21(183). – 2011. – С. 95-102.
4. Chen H., Wang F., Helian N., Akanmu G. User-priority guided min-min scheduling algorithm for load balancing in cloud computing // National Conference on Parallel Computing Technologies (PARCOMPTECH). – Bangalore, 2013. – P. 1-8.
5. Cardellini V. A performance study of distributed architectures for the quality of web services. // Proceedings of the 34th Conference on System Sciences. – Vol. 10. – 2001. – P.213-217.
6. Keshav S. An Engineering Approach to Computer Networking // Addison-Wesley, Reading, MA. – 1997. – P. 215-217.
7. Liu J., Luo X., Zhang X., Zhang F., Li B. Job Scheduling Model for Cloud Computing Based on Multi-Objective Genetic Algorithm // IJCSI International Journal of Computer Science. – V.10(1). – № 3. – 2013. – P.134-139.
8. Kameda H., Li L., Kim C., Zhang Y. Optimal Load Balancing in Distributed Computer Systems. – London: Springer, Verlag London Limited. - 1997. – 238 p.
9. Kaur R., Luthra P. Load Balancing in Cloud Computing // Proc. of Int. Conf. on Recent Trends in Information, Telecommunication and Computing. – Association of Computer Electronics and Electrical Engineers. – 2014. – P. 374-381.
10. 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>
11. Kovalenko, A.A. and Kuchuk, G.A. (2018), “The current state and trends of the development of computer systems of objects of critical application”, *Systems of control, navigation and communication*, PNTU, Poltava, No. 1 (47), pp. 110–113, DOI: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>
12. 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>
13. Zykov, I.S., Kuchuk, N.H. and Shmatkov S.I. (2018), “Synthesis of architecture of the computer transaction management system e-learning”, *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, pp. 60-66, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
14. Ruban, I.V., Martovytskyi, V.O., Kovalenko, A.A. and Lukova-Chuiko, N.V. (2019), “Identification in Informative Systems on the Basis of Users' Behaviour”, *Proceedings of the International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers, CAOL 2019-September*, 9019446, pp. 574-577, DOI: <https://doi.org/10.1109/CAOL46282.2019.9019446>
15. 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>
16. Roth G. Server load balancing architectures, Part 1: Transport-level load balancing. – 2008. – Режим доступа: <http://www.javaworld.com/article/2077921/architecture-scalability/server-load-balancing-architectures--part-1--transport-level-load-balancing.html>.

Received (Надійшла) 06.04.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.05.2020

## Динамічний метод оцінки завантаження вузлів розподіленої системи

I. M. Іванісенко

**Анотація.** Предметом дослідження є метод оцінки ресурсів розподіленої системи як частина наукової проблеми, пов'язаної з балансуванням навантаження та ефективним використанням ресурсів розподіленої системи. У статті представлений метод оцінки ресурсів розподіленої системи, таких як мережеві вузли, процесор, пам'ять та ширина смуги. Запропонований метод дозволяє розрахувати навантаження кожного вузла окремо в розподіленій системі та у всій системі взагалі. Класи потоків послуг також враховуються при розрахунку навантаження цих ресурсів. Введено комплексне значення дисбалансу сервера навантаження, яке враховує коефіцієнти ваги для процесора, пам'яті та пропускної здатності мережі. Ці вагові коефіцієнти дозволяють вибрати важливість кожного мережевого ресурсу (процесора, пам'яті та пропускної здатності) порівняно між собою. Також цей метод дозволяє розрахувати дисбаланс системних серверів. Застосування методу в балансуванні навантаження дозволяє розподіляти запити по серверах таким чином, щоб відхилення серверів навантаження від середнього значення було мінімальним, що дозволяє забезпечити більш високі параметри продуктивності системи (ефективність використання) та швидший обробка потоків. **Висновки.** У роботі пропонується вирішення актуальної наукової проблеми оцінки навантаження вузлів розподіленої системи. Запропонований метод заснований на обчисленні навантаження процесора, навантаження пам'яті та пропускної здатності каналу за потоками різних класів обслуговування. Також було введено комплексне значення дисбалансу навантаження сервера з урахуванням ваги процесора, пам'яті та пропускної здатності мережі. Відповідно, цей метод дозволяє розрахувати дисбаланс усіх серверів в системі, середній час роботи різних алгоритмів балансування та ефективність використання системних ресурсів.

**Ключові слова:** балансування навантаження, розподілена система, мультифрактальний трафік, використання ресурсів, самоподібний потік, дисбаланс.

А. А. Коваленко<sup>1</sup>, Р. О. Ярошевич<sup>1</sup>, О. І. Баленко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

<sup>2</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## INTERNET OF THINGS: ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ТА МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ

**Анотація.** Новий виток технічного розвитку цивілізації, в переході до автоматизації не тільки процесів на виробничих підприємствах, але і процесів, що протікають в повсякденному житті кожної людини, полягає у використанні великої кількості невеликих малопотужних з обчислювальної та енергетичної точки зору пристроїв для виконання однотипних простих завдань. Така технологія закладена в основі узагальненої назви «Інтернет речей» (IoT). Кінцева мета якої – дозволити об'єктам навколо нас ефективно відчувати наше середовище, легко взаємодіяти і врешті-решт створити для нас кращий світ. З огляду на це, дозволяючи пристроям обмінюватися даними, коли вони не належним чином захищені, Інтернет відкриває їм ряд значних вразливих місць. Поряд з усіма перевагами і можливостями нових технологій виробники компонентів системи «Інтернет речей» не приділяють належної уваги проблемам інформаційної безпеки, які виникають при повсякденному використанні як окремих компонентів системи, так і цілого апаратно-програмного комплексу. Основна причина відмова виробників впроваджувати компоненти безпеки – це великі обчислювальні витрати, а отже, велика витрата електричної енергії, що має дуже важливе значення для апаратури, що працює від автономного джерела живлення. До того ж це призводить до подорожчання системи «Інтернет речей». Це дослідження зосереджене на розгляданні загроз і вразливостях безпеки на кожному рівні архітектури IoT та існуючих технологій доступу, їх слабкі сторони, а також пропонуються рішення для поліпшення загальної безпеки системи за допомогою локального шлюзу IoT.

**Ключові слова:** Інтернет речей; інформаційна безпека; тривірнева архітектура; шлюз.

### Вступ

Internet of Things (Інтернет речей) – мережа фізичних або віртуальних унікальних ідентифікаторів, підключених безпосередньо або частково до Інтернету, які здатні ефективно передавати дані за допомогою збору та обміну інформацією, без необхідності взаємодії людини з людиною або людини з комп'ютером. Сьогодні технології Інтернету речей активно впроваджуються в усі сфери життя суспільства, дозволяючи використовувати різні пристрої, не обов'язково фізичні, для створення конкретних рішень, здатних полегшити життя людства. Пристрої стають здатними чути, бачити, думати, в деяких випадках діяти. Для правильної і ефективної роботи пристрою повинні коректно спілкуватися і координувати свої дії з іншими для того, щоб приймати ті чи інші рішення. Технології розподілених обчислень, вбудовані датчики, сучасні бездротові технології дозволяють Інтернету речей виконувати поставлені завдання.

Однією з головних проблем IoT є забезпечення інформаційної безпеки. Традиційні заходи безпеки і дотримання конфіденційності не можуть бути застосовані до технологій IoT, зокрема, через їх обмежену обчислювальну здатність. Окрім того, велика кількість підключених пристроїв створює проблему масштабованості. Тому необхідно обов'язково забезпечити дотримання безпеки, конфіденційності і моделі довіри, які підходять для контексту IoT. Основна ціль дослідження присвячена аналізу проблем забезпечення інформаційної безпеки IoT. Для вирішення цього було прийнято проаналізувати:

- багаторівневу структуру IoT;
- проблеми забезпечення безпеки на кожному з рівнів прийнятої структури IoT;
- дослідження забезпечення інформаційної безпеки IoT.

### Архітектура

Розробка успішних програм IoT включає в себе завдання забезпечення мобільності: при переміщенні IoT пристрою змінюється IP-адреса, отже, необхідна налагоджена робота протоколів маршрутизації; надійності (система повинна бути дуже надійною і швидкою в плані збору і передачі даних і прийняття рішень), масштабованості, тобто можливості розширення користувачів мережі. Концепція Інтернету речей передбачає, що до мережі буде підключено мільйони пристроїв. Також серед завдань необхідно відзначити забезпечення управління та доступності: відстеження збоїв, конфігурації і продуктивності такої великої кількості пристроїв, за що відповідають відповідні протоколи управління. Крім того необхідно забезпечити сумісність в мережі: гетерогенні пристрої та протоколи повинні бути в змозі працювати один з одним з урахуванням збереження безпеки і конфіденційності.

Існуюча архітектура Інтернету з її TCP/IP-протоколами не може впоратися з такою великою мережею, як IoT. Тому виникає необхідність в новій відкритій архітектурі, яка може відправляти звіти про безпеку, якість і клас послуг, які надаються передачі даних (QoS), разом з тим підтримуючи існуючі мережні додатки та використовуючи відкриті протоколи. Інтернет речей не може бути впроваджений без належних гарантій безпеки. Отже, захист даних і приватність є ключовими завданнями для IoT.

Для подальшого розвитку IoT запропонована багаторівнева архітектур безпеки [1].

### Результати досліджень

**1. Багаторівнева структура IoT.** Структуру IoT можна розділити на три рівні – рівень сприйняття, мережний рівень та прикладний рівень (рис. 1).



Рис. 1. Трирівнева архітектура IoT

Рівень сприйняття – рівень пристроїв IoT, що надає кожному об'єкту фізичне значення. Він складається з датчиків даних різних видів, таких, як RFID-мітки, IR датчики або інші мережі датчиків, які можуть зчитувати температуру об'єкта, вологість, швидкість, місце розташування і т.д. [2]. Цей рівень збирає корисну інформацію про об'єкти від датчиків, з'єднаних з ними, і перетворює цю інформацію в цифрові сигнали, які потім передаються до архітектури мережі для подальшої обробки. Завдання рівня сприйняття отримати надійне зчитування інформації про об'єкт, в будь-якому місці і в будь-який час. Мережний рівень – забезпечує повсюдний доступ, обробку, зберігання та передачу інформації за допомогою WiFi, Bluetooth, WiMaX, Zigbee, GSM, 3G і т.д., використовуючи протоколи IPv4, IPv6, MQTT, DDS і т.д. Мережний рівень складається з рівня доступу (мобільні мережі зв'язку), і основного рівня обміну (Інтернет, мережі наступного покоління NGN, віртуальні приватні мережі).

Прикладний рівень аналізує і обробляє отриману контактну інформацію для прийняття правильного рішення і контролю за управлінням, додатками і послугами, використовуючи такі технології, як хмарні обчислення, глобальні обчислення, гарантуючи прямий доступ до бази даних для того, щоб помістити в неї всю необхідну інформацію. Використовуючи Intelligent Processing Equipment (обладнання інтелектуальної обробки), інформація обробляється, а потім виконується повністю автоматизована дія на основі результатів обробки цієї інформації.

Слід зазначити, що в деяких роботах розглядається більш, ніж трирівнева архітектурі IoT. В роботі [1] прийнята шестирівнева архітектура IoT включає, окрім цих трьох рівнів, рівень кодування, рівень додатків та бізнес-рівень. Де, наприклад, рівень кодування – ідентифікує об'єкт інтересу (основа Інтернету Речей). Цей рівень призначає кожному об'єкту свій унікальний ідентифікатор (ID), що дозволяє легко розрізнити об'єкти.

**2. Проблеми інформаційної безпеки на рівнях структури IoT.** Проблеми безпеки на рівні сприйняття включає фізичні захоплення сенсорних вузлів, захоплення вузла шлюзу, витік інформації сенсора, загрози цілісності даних, виснаження енергозабезпечення, загрози перевантаження, атаки типу DoS (відмова в обслуговуванні), загрози маршрутизації встановленням в мережу нелегітимних сенсорів, і загрози копіювання вузла [2].

IoT приймає інформацію від великої кількості пристроїв, збирає великий масив даних різних фо-

рматів від безлічі джерел з неоднорідними характеристиками. В результаті цього на мережному рівні мають місце більш складні проблеми безпеки. До них відносяться можливі проблеми масштабованості мережі, викликані малопередбачуваним обсягом передачі даних від великого числа вузлів, що призводять до можливості здійснення атак DoS, DDoS, також несанкціонований доступ, перехоплення даних, конфіденційність, цілісність, віруси, експлойти, тощо. Окрема увага приділяється вразливостям програмного забезпечення (software vulnerabilities), що призводить до порушення безпеки після впровадження.

Причинами програмної вразливості можуть бути помилки розробників складного багатопрограмного програмного забезпечення (ПО), помилки ядра програми, застосування незахищеного коду, необроблених масивів з можливістю їх переповнення зловмисником, помилки в обробці Big Data, помилки БД, відсутність належної індексації або закріплення запитів БД, web-уразливості, недостатня продуктивність або масштабованість ПО, помилки розподіленої роботи додатків, а також віртуальних платформ і хмар. Слід зазначити складність ПО в IoT, викликану великою різноманітністю використовуваних апаратних платформ і операційних систем. Для проектування ПО необхідно емулювати поведінку приладів IoT, тобто створити імітатор зовнішнього середовища для серверів. Унаслідок обмежень в приладах (енергозабезпечення, продуктивність процесора, пам'ять) в IoT стоїть складне завдання уникнути сильного розбіжності між емулятором і приладом [2].

Крім порушення інформаційної безпеки традиційних мереж зв'язку додатки IoT стикаються з додатковими проблемами безпеки на прикладному рівні – при використанні хмарних обчисленнях, обробці інформації, забезпеченні прав на інтелектуальну власність, захист приватності та ін.

**3. Методи підвищення захисту.** Виходячи з усього вищесказаного та враховуючи вимоги до безпеки інформаційних систем, можна зробити висновок, що існують різні підходи для визначення та запобігання загроз. На основі розглянутої структури, а також з урахуванням тенденцій розвитку технології «Інтернет речей» можна запропонувати наступні методи підвищення захищеності архітектури.

Одним із рішень для покращення захисту структури – це використання шлюзів IoT, який буде розміщуватися на мережному рівні. Оскільки можливості і потреби пристроїв збільшуються, їх часто неможливо отримати спілкуючись безпосередньо з системами. Деякі датчики і контролери не підтримують енергоємні протоколи, такі як Wi-Fi або Bluetooth, і всі вони підключаються до безлічі громадських і приватних мереж (рис. 2).

Шлюз Інтернету речей виконує кілька важливих функцій: від переведення протоколів до шифрування, обробки, управління і фільтрації даних, за рахунок оптимізації продуктивності системи за допомогою зібраних ними операційних даних, які обробляються в режимі реального часу.



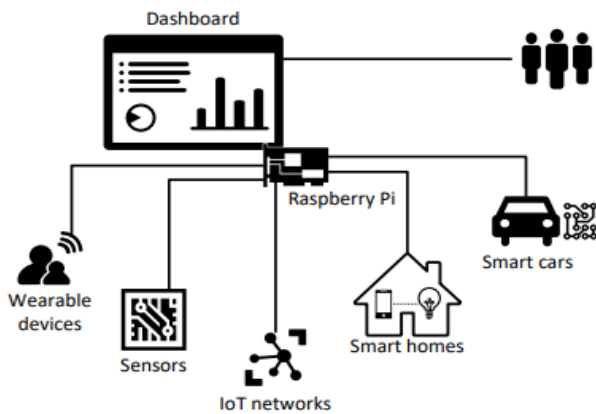


Рис. 2. «Хмара» на базі домашньої системи[4]

Шлюзи IoT можуть виконувати:

- висока масштабованість – вони можуть брати інтелектуальні дані з центру обробки даних або хмари і передавати їх до мережі;
- зниження витрат – кінцеві пристрої не обов'язково повинні мати таку високу обчислювальну потужність, пам'ять або сховище, оскільки шлюз робить все це за них[3];
- зниження витрат на зв'язок – менша кількість повідомлень M2M означає меншу мережу і (WAN) трафік;
- зниження ризиків – шлюзи можуть ізолювати непрацюючі пристрої і датчики до того, як вони вийдуть із ладу.

До методів підвищення захищеності архітектури на рівні сприйняття можна віднести:

- уніфікація кодування – розробка єдиного для всіх пристроїв протоколу кодування інформації, у 1-й черзі використовується технологія RFID, де використовуються європейські та японські стандарти [3];

- коди корекції – допомагають уникнути колізій, які виникають при одночасному зчитуванні інформації з багатьох безпроводних пристроїв;
- захист конфіденційності RFID;
- протоколи аутентифікації пристроїв – як правило, реалізовані у вигляді паролльної схеми;
- шифрування інформації, що передається мережею, використання простих симетричних алгоритмів;
- протоколи безпечної маршрутизації, а також управління передачею між пристроями на сьогоdnішній момент будуються на використанні сертифікатів достовірностей, наприклад X.509 та ін.;
- уніфікація протоколу передачі даних – складається з визначення формату представлення даних: XML, JSON або ін.

На останньому рівні розгляду аспектів безпеки, пов'язаних із веб-сервісами та хмарними обчисленнями. Так як ці елементи не мають явної специфіки щодо середовища «Інтернет речей», увагу на них акцентувати не будемо.

### Висновки

Стрімкий розвиток в практичному плані концепції Інтернету речей, викликане широким поширенням безпроводних технологій та міжмашинним обміном, розвитком технологій хмарних обчислень і початком переходу на IPv6. Однак використання IoT у багатьох областях обмежено складними проблемами в сфері забезпечення інформаційної безпеки. В даній роботі виконано аналіз багаторівневої архітектури IoT, а саме: рівень сприйняття, мережний рівень та прикладний рівень. Проаналізовано проблеми забезпечення безпеки на кожному з рівнів прийнятої структури та запропоновано методи визначення та запобігання загроз середовища «Інтернет речей».

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. «Інтернет Вещей: концепция, приложения и задачи» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://cyberleninka.ru/article/n/internet-veschey-kontseptsiya-prilozheniya-i-zadachi/viewer>.
2. «ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ: ОБЗОР» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://cyberleninka.ru/article/n/problems-bezopasnosti-internet-veschey-obzor/viewer>.
3. «ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СИСТЕМЕ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnaya-bezopasnost-v-sisteme-internet-veschey/viewer>.
4. «INTERNET OF THINGS SECURITY PROBLEMS» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу [https://www.researchgate.net/publication/331318204\\_Internet\\_of\\_Things\\_Security\\_Problems](https://www.researchgate.net/publication/331318204_Internet_of_Things_Security_Problems)

Received (Надійшла) 22.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.03.2021

### Internet of things: problems of information security and methods of improvement

Andriy Kovalenko, Roman Yaroshevich, Oleksii Balenko

**Abstract.** A new round of technical development of civilization, in the transition to automation of not only processes in industrial enterprises, but also processes occurring in everyday life, is to use a large number of small low-power from a computational and energy point of view devices to perform simple tasks. This technology is the basis of the generalized name "Internet of Things" (IoT). Its ultimate goal is to allow the objects around us to effectively feel our environment, interact easily, and ultimately create a better world for us. Because of this, by allowing devices to communicate when they are not properly protected, the Internet opens up a number of significant vulnerabilities. Along with all the advantages and capabilities of new technologies, manufacturers of Internet of Things components do not pay due attention to the problems of information security that arise in the daily use of individual components of the system and the whole hardware and software complex. The main reason for the failure of manufacturers to implement safety components is the high computational costs and, consequently, the high consumption of electrical energy, which is very important for equipment running on a stand-alone power supply. In addition, it leads to more expensive Internet of Things. This study focuses on addressing security threats and vulnerabilities at each level of the IoT architecture and existing access technologies, their weaknesses, and offers solutions to improve the overall security of the system through a local IoT gateway.

**Keywords:** Internet of Things; informational security; three-level architecture; sluice.



Л. О. Левченко, О. В. Ходаковський, В. П. Колумбет

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

## МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ЕКРАНІВ

**Анотація.** Досліджено можливості автоматизації процесів проектування матеріалів та конструкцій для екранування електричних, магнітних та електромагнітних полів широкого частотного діапазону. Показано, що необхідність автоматизації процесів проектування обумовлена залежністю захисних властивостей (коефіцієнтів екранування) матеріалів від кількох параметрів – магнітної та діелектричної проникностей, електропровідності, товщини матеріалу. Для композиційних матеріалів необхідно враховувати об'ємний вміст і дисперсність екрануючого наповнювача у діелектричній матриці. Вихідними даними є необхідні коефіцієнти екранування (з урахуванням коефіцієнтів відбиття електромагнітних хвиль у діапазоні ультрависоких частот). Спираючись на фундаментальні співвідношення електродинаміки суцільних середовищ, надано співвідношення для послідовного визначення коефіцієнтів заломлення та екстинкції матеріалів, що надає можливість розрахувати значення дійсної та уявної складових комплексної діелектричної проникності. На основі цих значень визначається питома електрична провідність матеріалів. Це, у свою чергу, дозволяє визначити еквівалентну глибину проникнення височастотного електромагнітного поля у матеріал. Показано, що для розрахування відносних магнітної та діелектричної проникностей з прийнятними похибками доцільно використовувати співвідношення Лорентца та Максвелла-Гарнетта. Для цього достатньо мати відомості про діелектричні та магнітні проникності компонентів (які є довідковими величинами) та об'ємний вміст екрануючої субстанції у діелектричній матриці. Це надає можливість однозначно визначити захисні властивості композиції у широкому частотному діапазоні. Враховуючи залежність ефективності матеріалів від багатьох факторів, автоматизація процесів проектування дозволить оптимізувати співвідношення критичних параметрів з урахуванням магнітних властивостей і вартості кінцевого продукту.

**Ключові слова:** електромагнітне поле, електромагнітний екран, екранування, коефіцієнт екранування, композиційний матеріал, автоматизація.

### Вступ

Електромагнітна обстановка у сучасних виробничих, офісних та навчальних приміщеннях характеризується складною динамікою у просторі і часі. При цьому за певними частотними та амплітудними значеннями спостерігається перевищення або наближення до гранично допустимих рівнів. Ефективним засобом зниження рівнів полів, що впливають на людей, є застосування екрануючих поверхонь. Але використання магнітних, електромагнітних екранів не завжди виправдане через можливі збої у виробничих процесах і погіршення якості бездротового зв'язку. Крім того, значні коефіцієнти екранування низькочастотних електричних і магнітних полів аналогічним чином знижують природне магнітне поле, що заборонено чинними національними та міжнародними нормативами. Таким чином, застосування екранування повинне реалізуватися на основі ретельних проектних робіт з визначення необхідного і достатнього рівня екранування полів визначених частот і амплітуд. Найбільш раціональним є автоматизація проектних робіт, що дозволить оптимізувати захисні властивості екрануючих матеріалів. Реалізація автоматизованого проектування гальмується через невизначеність або неоднозначність математичного апарату щодо розрахунку коефіцієнтів екранування. Певним чином це обумовлене неповністю або відсутністю вихідних даних для розрахунків. Особливо це стосується інноваційних композиційних матеріалів, для яких дані щодо головних параметрів – магнітних та електрофізичних властивостей відсутні у довідковій літературі. Експериментальне визначення цих величин для матеріалів різних скла-

дів дуже витратне. Тому доцільним є визначення та систематизація розрахункових методів обчислення необхідних величин для різних типів захисних матеріалів та надання засад алгоритмізації процесів проектування матеріалів для екранування електромагнітних полів широкого частотного діапазону.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загальним недоліком досліджень з проектування захисних екранів є відсутність систематизації, яка б дозволила уніфікувати розрахунковий апарат. Більшість робіт стосується або якогось одного впливу [1], або одного класу матеріалів [2]. У багатьох випадках розрахункові методи абстрактні і не мають прикладного значення [3]. Частково вони призначені для вдосконалення конструкцій електротехнічного обладнання і не можуть бути застосовані для захисту людей [4, 5]. У роботі [6] показано, що захисні властивості композиційних матеріалів залежать навіть від форми частинок, що забезпечують екранування. Тому, найбільше значення має визначення магнітних властивостей композицій [7]. Частково необхідні вихідні дані експериментально-аналітично визначені у [8], але вони мають окремий характер для використання чітко визначених компонентів. У [9] надано загальні підходи до розрахування (прогнозування) захисних властивостей матеріалів. Але для композицій не надано вихідних даних, які дають можливість отримати кількісні значення прикладного характеру. Не здійснено також чіткого розділення провідних, напівпровідних і непровідних матеріалів, що може привести до значних похибок у розрахунках.

Таким чином, необхідно надати повний ланцюг розрахунків, починаючи з обчислення фізичних характеристик, які завершуються отриманням спів-

відношення захисних властивостей та усіх параметрів захисного матеріалу.

**Мета роботи** – надання розрахункового апарату, придатного для алгоритмізації процесів проектування електромагнітних екранів включно з обчисленням магнітних та електрофізичних властивостей композицій з урахуванням специфіки екранування полів наднизьких та ультрависоких частот.

### Виклад основного матеріалу

Для проектування захисного або електромагнітного екрану головним показником є коефіцієнт екранування поля, який забезпечується за тих чи інших складу, товщини і конструкції матеріалу. При цьому, принаймні для високочастотних полів, необхідно враховувати внесок коефіцієнта відбиття у загальний коефіцієнт екранування. Виходячи з фундаментальних співвідношень згасання електромагнітного поля у товщі матеріалу [10], коефіцієнти екранування поля за потужністю  $K_e$  та коефіцієнт відбиття електромагнітних хвиль від поверхні матеріалу  $K_b$  визначається співвідношеннями:

$$K_e = \frac{(n+1) + \chi^2}{4n} \exp\left[\frac{2\chi\omega d}{c}\right], \quad (1)$$

$$K_b = \frac{(n-1)^2 + \chi^2}{(n+1)^2 + \chi^2}, \quad (2)$$

де  $n$  – коефіцієнт заломлення матеріалу,  $\chi$  – коефіцієнт поглинання матеріалу,  $\omega$  – колова частота електромагнітної хвилі,  $d$  – товщина захисного матеріалу,  $c$  – швидкість розповсюдження хвилі.

Потрібні коефіцієнти екранування (у тому числі допустимі коефіцієнти відбиття) визначаються за результатами натурних вимірювань, що надає можливість з'ясувати необхідні ступені зниження поля.

Таким чином, знаючи значення  $K_e$  та  $K_b$  з рівнянь (1) і (2) можна визначити значення  $n$  та  $\chi$ , які повинен мати захисний матеріал. Для матеріалів з відносною магнітною проникністю, близькою до 1:

$$n^2 - \chi^2 = \varepsilon'; \quad 2n\chi^2 = \varepsilon'',$$

де  $\varepsilon'$  та  $\varepsilon''$  – дійсна та уявна складові комплексної діелектричної проникності матеріалу, звідки:

$$n = \sqrt{\left(\varepsilon' + \sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2}\right)/2}; \quad \chi = \sqrt{\left(-\varepsilon' + \sqrt{\varepsilon'^2 + \varepsilon''^2}\right)/2},$$

що надає можливість визначити потрібне співвідношення  $\varepsilon'$  та  $\varepsilon''$  матеріалу за визначеною частоті електромагнітного поля, яке потребує екранування.

За умови  $\omega \rightarrow 0$  (наднизькі частоти)

$$\varepsilon(\omega) = i \cdot 4\pi\sigma/\omega,$$

де  $\sigma$  – питома провідність матеріалу.

Уявна частина  $\varepsilon$  є великою порівняно з дійсною, якою можна знехтувати.

$$\varepsilon'' = 4\pi\sigma/\omega; \quad n = \chi = \sqrt{2\pi\sigma/\omega},$$

що надає можливість попереднього оцінювання електропровідності захисного матеріалу.

Цей показник необхідний для визначення  $\delta$ :

$$\delta = \sqrt{1/(\omega\mu\sigma)},$$

$\delta$  показує глибину, де поле знижується у  $e=2,7$  разів.

Для розрахунку необхідно також значення абсолютної магнітної проникності матеріалу  $\mu_a$ .

Для усіх стандартних металевих матеріалів вона відома. Але для композиційних матеріалів (наприклад, магнітодіелектриків) довідкові дані відсутні. З прийнятною точністю відносною магнітну проникність можна визначити, виходячи з об'ємного вмісту магнітних частинок у діелектричній матриці. Якщо вважати частинки наповнювача круглими і рівномірно розподіленими у діелектрику, то можна скористатися співвідношенням Лорентца:

$$\mu = 1 + v_m(\mu_m - 1) / (1 + (1 - v_m)(\mu_m - 1)/3),$$

де  $v_m$  – об'ємна доля магнітного наповнювача у діелектричній матриці,  $\mu_m$  – відносна магнітна проникність феромагнітного наповнювача.

Для визначення коефіцієнта відбиття магнітодіелектрика необхідне значення відносної діелектричної проникності. Її значення можна визначити, скориставшись формулою Максвелла-Гарнетта:

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_d}{\varepsilon + 2\varepsilon_d} = v_m \frac{\varepsilon_m - \varepsilon_d}{\varepsilon_m + 2\varepsilon_d},$$

де  $\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність композиції,  $\varepsilon_d$  – відносна діелектрична проникність діелектричної матриці,  $\varepsilon_m$  – відносна діелектрична проникність наповнювача,  $v_m$  – об'ємна доля магнітного наповнювача у композиції.

Слід враховувати, що співвідношення справедливе для  $v_m < 1/3$ . Досвід показує, що ця пропорція у реальних умовах виконується майже завжди. Наприклад, додавання дрібнодисперсного магнетиту у полімер у кількості 60% (за вагою) відповідає об'ємному вмісту 28%.

Маючи кількісні значення  $\mu$  та  $\varepsilon$  можна розрахувати хвильовий опір композиції:

$$Z_\mu = \sqrt{\mu_\alpha/\varepsilon_\alpha},$$

де  $\mu_\alpha = \mu_0\mu$ ;  $\varepsilon_\alpha = \varepsilon_0\varepsilon$ ,  $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$  Гн/м,  $\varepsilon_0 = 86 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

Відповідно, коефіцієнт відбиття:

$$K_b = (Z_1 - Z_2)/(Z_1 + Z_2),$$

де  $Z_1$  – хвильовий опір захисного матеріалу,  $Z_2$  – опір середовища розповсюдження електромагнітних хвиль (для повітря  $Z_2=377$  Ом). Наведені дані надають можливість з прийнятною похибкою попередньо оцінити необхідні склад, магнітні та електрофізичні параметри, необхідну товщину захисного матеріалу. У реальних умовах доцільно зафіксувати, наприклад, товщину й оцінювати достатню концентрацію екрануючої субстанції у вихідному матеріалі. Створення прикладного програмного забезпечення, яке автоматизує процес проектування матеріалу, дозволить оптимізувати усі параметри екрануючої конструкції з урахуванням потрібної гнучкості матеріалу, міцнісних характеристик тощо.

Алгоритм включає послідовність дій, викладених у статті, але при цьому задаються певні граничні умови, наприклад, товщина матеріалу. На наступних етапах визначається яким повинен бути склад композиту для забезпечення потрібних ступенів захисту. Алгоритм має зворотні зв'язки через необхідність внесення коректив у взаємопов'язані електрофізичні, магнітні та геометричні характеристики. При цьому не обов'язково розв'язувати задачу оптимізації. При реалізації програмного забезпечення достатньо використувати метод перебору вхідних даних.

### Висновки

1. Автоматизація проектування електромагнітних екранів можлива за умови визначення однозначного алгоритму розрахунків потрібних значень і параметрів. Вихідною інформацією є фактичні амплітудно-частотні характеристики магнітного, електричного та електромагнітного поля, яке потребує екрану-

вання. Ці дані визначають потрібні ступені захисту, тобто коефіцієнти екранування поля (у тому числі й коефіцієнти відбиття електромагнітних хвиль).

2. Для забезпечення необхідних коефіцієнтів поглинання та відбиття розраховуються послідовно коефіцієнти заломлення та екстинкції матеріалу, діелектричні проникності з урахуванням частоти екранованого поля.

3. Особливістю композиційних екрануючих матеріалів є відсутність довідкових даних щодо магнітних та електрофізичних властивостей. Їх визначення (оціночне) можливе застосуванням співвідношень Лорентца та Максвелла-Гарнетта. З урахуванням об'ємної частки дрібнодисперсної екрануючої субстанції у діелектричній матриці.

4. Залежність коефіцієнтів екранування від кількох параметрів робить доцільним автоматизацію процесів проектування захисних матеріалів, що дозволяє оптимізувати склад композиції та її товщину.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Mei Li, ShaoQiu Xiao, Yan-Ying Bai, Bing-Zhong Wang. An Ultrathin and Broadband Radar Absorber Using Resistive FSS. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2012. № 11. P. 748–751.
2. Демский Д. В. Метод расчета эффективности экранирования для неоднородных электромагнитных экранов: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.14. Москва, 2014. 114 с.
3. Назаренко М. В., Гончарова О. М., Панова О. В. Розрахункові методи визначення захисних властивостей електромагнітних екранів. *Проблеми охорони праці в Україні*. 2012. Вип. 23. С. 84–89.
4. Заблудский Н. Н., Филатов М. А., Грицюк В. Ю. Численное моделирование электромагнитных полей в полифункциональных электромеханических преобразователях с полым перфорированным ротором. *Електротехніка і електромеханіка*. 2012. № 1. С. 25–27
5. Скобликов Ю. А. Результаты моделирования процесса проникновения электрического поля внутрь структурно-неоднородного электромагнитного экрана. *Електротехніка і електромеханіка*. 2011. № 4 С. 66–71.
6. Касаткіна Н. В., Тихенко О. М., Панова О. В., Бірук Я. І. Підвищення ефективності композиційних електромагнітних екранів регулюванням морфології феромагнітного наповнювача. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2020. Т. 3 (61). С. 115–118.
7. Radionov A.V., Podoltsev A.D., Radionova A.A. Express-method for determining the quality of a magnetic fluid for operation in the working gap of a magnetic fluid seal. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Volume 233 (2017) 012038.
8. V. Glyva, N. Kasatkina, V. Nazarenko, N. Burdeina, N. Karaieva, L. Levchenko, O. Panova, O. Tykhenko, O. Khodakovskyy. 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. Vol. 2. No. 12 (104). PP. 40 – 47.
9. Касаткіна Н. В., Тихенко О. М., Фурсенко О.М. Розрахункові методи проектування електромагнітних екранів із заданими захисними властивостями. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2020. Т. 2 (60). С. 118–121.
10. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая Физика Т. VIII. Электродинамика сплошных сред. – физ. - мат. лит, 2001. 656 с.

Received (Надійшла) 29.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.04.2021

### Methodological approaches to automation of electromagnetic screens

Larysa Levchenko, Oleksiy Khodakovskyy, Vadym Kolumbet

**Abstract.** The possibilities of automation of processes of designing materials and structures for shielding electrical, magnetic and electromagnetic fields of a wide frequency range are investigated. It is shown that the need for automation of design processes is due to the dependence of protective properties (coefficients of shielding) materials from several parameters – magnetic and dielectric permeabilities, electrical conductivity of the thickness of the material. For composite materials it is necessary to take into account the volumetric content and dispersion of the screening filler in the dielectric matrix. The initial data are the necessary shielding coefficients (taking into account the reflection coefficients of electromagnetic waves in the range of ultra-high frequencies). Based on the fundamental ratio of electrodynamics of continuous media, the ratio for successive determination of refractive indexes and extinction of materials, which provides the ability to calculate the values of the actual and imaginary components of complex dielectric permeability. On the basis of these values, the specific electrical conductivity of materials is determined. This, in turn, allows you to determine the equivalent depth of penetration of a high-frequency electromagnetic field into the material. It is shown that for calculating relative magnetic and dielectric permeabilities with acceptable errors, it is advisable to use the ratio of Lorentz and Maxwell-Garnet. To do this, it is enough to have information about the dielectric and magnetic permeability of the components (which are reference values) and the bulk content of the screening substance in the dielectric matrix. This allows you to uniquely identify the protective properties of the composition in a wide frequency range. Taking into account the dependence of the effectiveness of materials from many factors, automation of design processes will optimize the ratio of critical parameters taking into account the magnetic properties and cost of the final product.

**Keywords:** electromagnetic field, electromagnetic screen, shielding, shielding coefficient, composite material, automation.

A. Lomanchenko, O. Khloponin, T. Derkach, T. Dmytrenko

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

## TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE E-LEARNING SYSTEMS DEVELOPMENT

**Abstract.** Modern information technology can significantly increase the personalization of learning activities and provide continuous feedback between a teacher and a student, through the widespread implementation of distance learning. At the same time, in order to provide the required level of distance learning process, an important task is to design new information systems that will allow teachers to use various forms of communication with students in learning activities. E-learning resources are investigated. The article describes and analyses the most popular web platforms for electronic education and determines Moodle system as the most functional one, but difficult for users who are unfamiliar with web technologies. Features of e-learning resources and the main requirements to their design and functionality are studied. The relevance and expediency of the use of information technologies in education are described in the paper and self-engineered information system of e-learning is suggested, its main functions and scenarios are determined and system on an abstract level is described. The main user characteristics are given and their connections with system usage cases are determined.

**Keywords:** informatization, educational Internet resources, e-learning, user interface, information systems, computerizing, digitalization.

### Introduction

Lately, all spheres of human life are becoming more digitalized, and therefore it can be stated that modern society is an information society. The education sphere is not an exception. In order to have the necessary computer skills in further life, people need to be taught this from childhood. Therefore, educational information technology today is a necessary condition for the full informatization of society.

**Articulation of issue.** One of the trends of improvement of education quality is learning transition to electronic mode at different levels of the educational process. This allows students to pay more attention to important topics individually and to study interesting material more fundamentally, which is not physically possible to provide in the classroom for a limited amount of time.

The topic of e-learning is very relevant in today's reality and although more and more attention is paid to it, it still needs more detailed research.

**Analysis of research and publications.** An analysis of recent research and publications has shown that most of them are aimed at studying an impact of online environments on the educational process, rather than directly studying the interface and functionality of online resources.

**Formation of the purpose of the article.** The main purpose of the article is to analyse existing e-learning systems, identify their advantages and disadvantages and provide recommendations on the necessary functionality and more appropriate design of educational resources.

**Relevance of e-learning.** The rapid development of the Internet and the growth of its information and communication abilities contribute to the rapid development of e-learning. That is why one of the priorities of the modernization program of educational activities in Ukraine is distance learning [1, 2].

Distance learning is widely spread in many countries around the world. The United Kingdom was the

first to apply this kind of education, where the first university of distance education was opened in 1969. Today, the United Kingdom is the first among European countries in terms of providing teachers with access to modern IT technologies.

### The design of electronic resource.

While designing the electronic resource it is accepted to use motivation management approach, which means that each element of resource design was involved in energization of need in cognition and learning, this learning strategy also includes the selection and presentation of educational materials, as well as the selection and planning of educational activities [3-7].

Educational websites should not distract students from learning, their interface should be simple and concise, and what is most important user-friendly. Children should be able to choose their own schedule and get access to any learning materials at any time.

One of the main qualities of software is convenience and simplicity of use, it means the information system must be adaptable to different screen formats, so that each user, regardless of their hardware, can access it [8]. Also, students and teachers do not have to get used to and learn the rules of using the resource for a long time. It means, the developer in his pursuit of rich resource functionality cannot neglect or forget such an important indicator as the clearness of information systems for the user [9].

### Functionality of the electronic resource

The main task of e-learning resources is to provide students and teachers with the most convenient functionality for better communication. It means that the learning resource should be rich in functionality, so that the teacher could give extra explanation of difficult material to students, test them, and review the test results, draw conclusions about success and determine which material was mastered worse, for further revision.

Teachers need to receive completed student's homework. Checking homework before the lesson starts

can significantly increase the lessons' productivity, because when teacher can understand in advance if students have mastered only part of previous material, the next lesson he can focus on revision of previous topic, but not moving on to the next one, which can cause problems with undigested material among students [10, 11].

Students, in their turn, should be able to contact the teacher and ask questions on difficult parts of the topic. Constant access to all learning materials is also important.

The learning resource should be flexible enough to provide the teacher with the necessary functionality to create tests and add materials.

### Comparative analysis of existing information e-learning systems

There are lots of e-learning resources. The analysis of existing e-learning systems allowed identifying the most popular, among them there are:

Moodle [12],

Ilias [13],

ATutor [14].

**Moodle** is free open Australian platform for distance learning that allows you to use a wide range of tools for teacher-student interaction. For instance, this platform provides an opportunity to present material in various forms, to test students using a wide range of open and closed questions, and students have an opportunity to send the teacher completed task by attaching an appropriate file to the resource. Today, Moodle is the most common distance educational system.

The system provides a wide range of tools for monitoring the students' learning activities: the teacher or the administration of the educational institution can review the total time of the student's work on a particular subject, topic or e-learning material, the overall performance of each student or the whole class.

The main advantages of this resource are:

- an availability of its full code in open access, which allows you to fully customize the functionality and design of the site for specific needs and desires;
- a large number of ready-made plug-ins that allows significantly expand the standard functionality of the platform;
- a developed community that is constantly updating the system and adding new plug-ins;
- a wide choice of ways to add a new user: it is possible to add a user manually, import from a file or invite him by e-mail, and if it is necessary, users can register in the system [14].

The main disadvantage of Moodle is its complexity for the average user, it means that to administer the resource and quickly install and run the platform, the educational institution will need a special employee with IT experience. The system is quite overloaded with functionality that can slow down the work.

Among the features of this platform its easy integration with other services, which is very convenient should also be highlighted.

Moodle easily combines with other platforms, such as WordPress or Zoom.

**Ilias** is a German web platform, its main feature is a simple and user-friendly interface, it is similar to a social network, so it will be easy for students and teachers to learn and get used to the resource.

The platform has quite wide range of functionality and a powerful test editor with the function to create 17 types of questions.

Compared to Moodle, Ilias is very easy to use and configure, but it requires a person with special knowledge to install it and start work.

The interface and functionality of the platform can also be changed, but as the resource does not have an open source, this can only be done with plugins. The platform has tools for notification and communication between users, as well as forums, discussions and newsletters.

Ilias has a built-in content constructor that allows teachers to create surveys, exercises and tests for students. The platform allows creating and assigning learning materials.

As well as Moodle this platform has a wide range of ways to add to users to the website.

**ATutor** is a Canadian web-based learning management system with easy-to-use tools for teachers, which makes it easy to create and transfer educational materials, as well as create your own online courses.

The system defines three types of users: teachers, students and administrators, each type of user has its own abilities. One of the features of this system is that students can edit personal information, as well as use a convenient search system on the website.

ATutor has a built-in course editor that provides quite flexible settings and helps teachers personalize their courses and create the course page that will focus on more effective education for certain age and study groups. The system also has an interface with a high level of adaptability due to the modules.

Although interface is easy and user-friendly, system installation and administering requires special skills and a plenty of time. The functionality of the platform depends on the installed modules, which is one of the problems of the resource, as the old modules may not be supported by new versions of ATutor, and there are not many supported modules. The main functionality of the system is conducting courses and testing, collecting statistics.

### Self-engineered information system

Having analysed the existing information systems, self-engineered version of web resource for e-learning was suggested.

The work of e-learning system is defined and described with the help of adequate to subject area model, for this purpose the context diagram in notation IDEF0 was constructed. (Fig. 1).

The system has three inputs (homework, students and education material), which are processed using three control streams (curriculum, the regulation of the general educational institutions and the Ukrainian laws on education) and the mechanism (teacher) and goes to the outputs of the system – student performance in subjects and the students' rating in the class.

After the general description, a functional decomposition of the system was made and a decomposition diagram was constructed (Fig. 2).

The main functions, which it will provide, were defined, namely:

- adding, editing and reviewing schedules;
- adding, editing and reviewing the educational materials;
- adding tests and display of an assessment after their passing;

- user's ability to review their mistakes after testing all students;
- adding, editing and list of homework tasks on the site;
- teacher's ability to assess the homework;
- signing on new students in the system;
- a personal account for each user with information about their grades, if it is a student, or, if it is a teacher, about completing homework sent him by students.

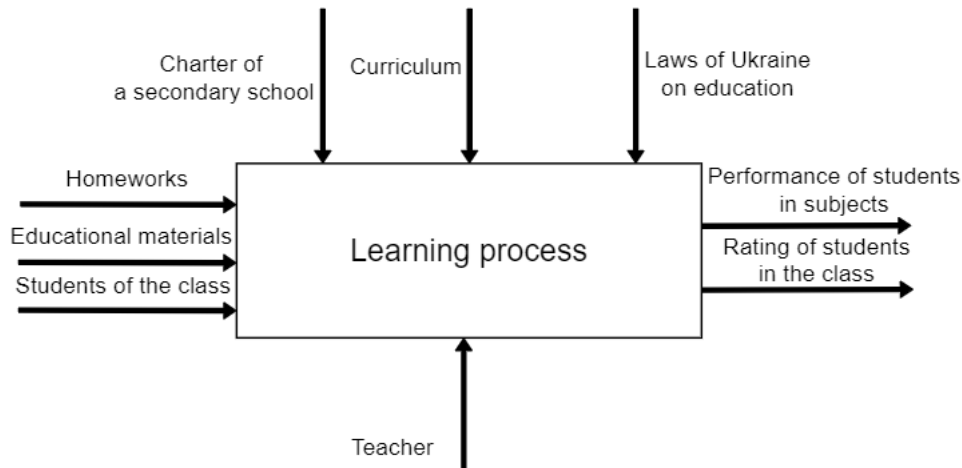


Fig. 1. Context diagram

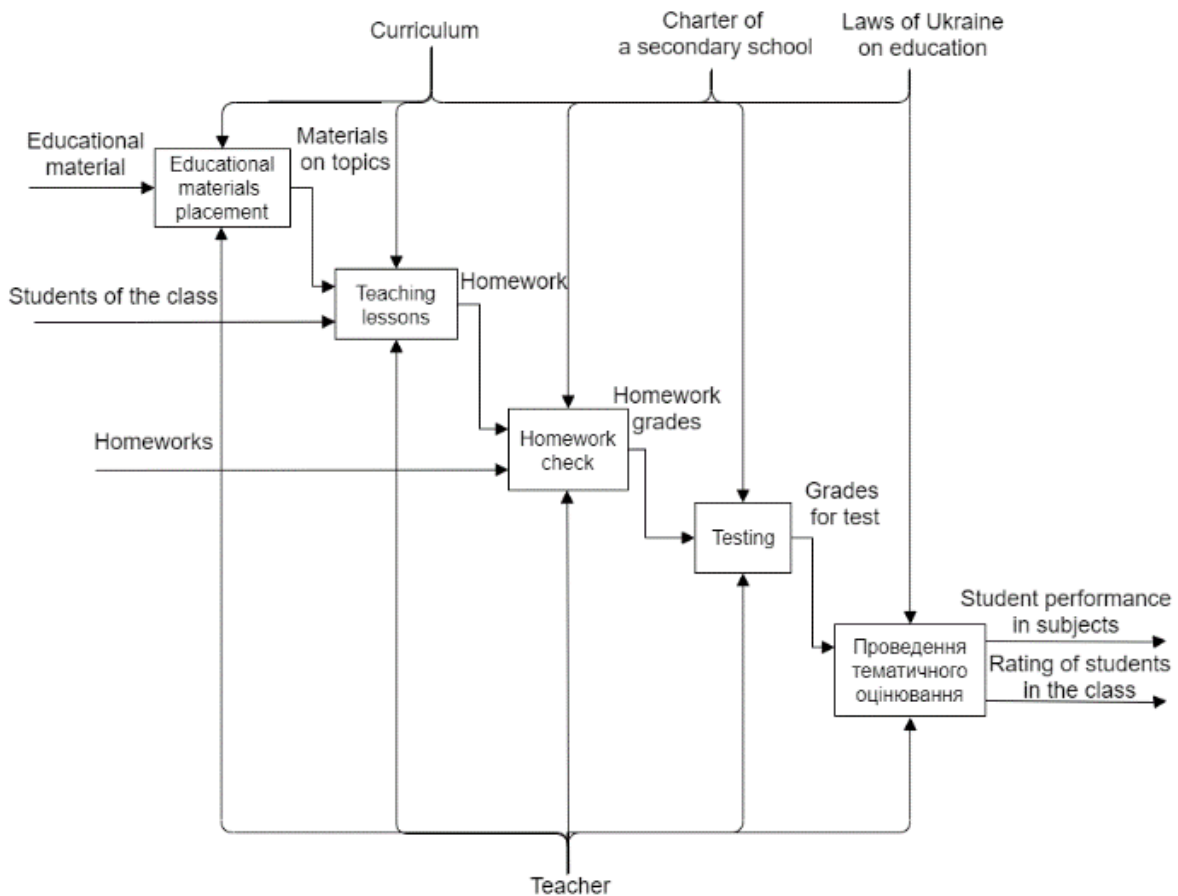


Fig. 2. Decomposition diagram

Then, five main operating scenarios of the information system were defined:

1. Educational material assignment – teacher logs into his account in the system, chooses the subject, then

chooses or if it is necessary creates a new topic and clicks the add material button, then uploads the desired file to the website from his computer. If a user is logged into a "Student" account, he cannot add learning material to the system.

2. Adding homework – the student logs into his account, chooses the subject he needs and adds work, after that the system automatically sends a message about the added homework to the personal account of the teacher of the selected subject. If a user is logged in to a "Teacher" account, he cannot add homework to the system.

3. Adding tests – the teacher logs into his account, selects the necessary subject and topic, then the user adds each question, answer options and indicates the correct one, then saves the test and determines the time for its completion, when it is available for students and which groups of students should do it (because several groups, for example 10-A and 10-B, can learn this discipline and the schedule of their classes is different), after that each student, who learns this course will automatically get information about the necessity of completing the test and time given for this.

4. Completion of tests – a student logs into his account, sees a system message about the available test, goes to the necessary discipline and clicks on the test, then after selecting all the correct answers the user

clicks "Finish test", after that the system displays the score for the test, however mistake viewing has not been yet available. After the test is closed for completion, a student can see how many correct answers he gave, and which questions he answered wrong. The teacher who uploaded the test to the website will receive a message about completing the test by the students in the personal account, after that he can review students' grades and mistakes.

5. Viewing grades – a student logs into his account and goes to the section "Grades", which displays all the subjects the student is enrolled for and grades from homework and tests, also in the section "Final evaluation" the final grade for each subject is displayed .

Three main types of users of information electronic system are defined:

1. **Administrator** supports the system operation and helps users in case they have some problems with the system.

2. **Teacher** is a user who provides students with learning materials, conducts testing, checks homework and evaluates students' education.

3. **Student** is a user who uses learning materials, does homework and completes tests.

The diagram of usage options (Fig. 3) shows all the scenarios of working with the system and their connection with users.

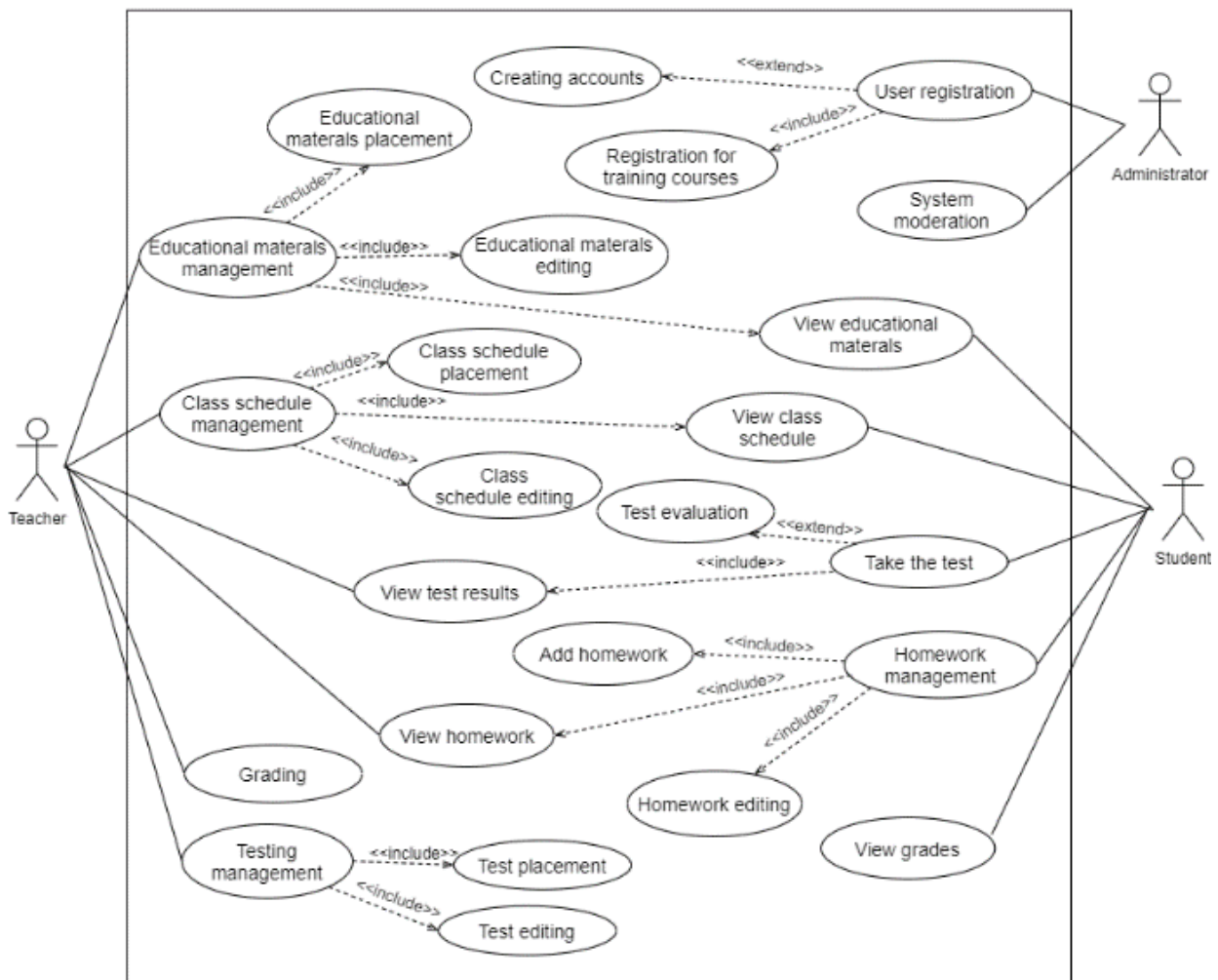


Fig. 3. The diagram of usage options



The use case diagram shows that each type of users should have access only to limited functionality; it means that a student cannot have rights for editing the learning material on the website to avoid unwanted or accidental changes in the course of the discipline.

Also, students should not see progress reports of the whole group, as information about grades is confidential, only the teacher and the administration of educational institution have the right to view it, and students in turn can only see their own grades.

From the point of view of information security, e-learning is undoubtedly the best alternative to the classical one, as the storage of grades in paper journals has a very low level of privacy.

## Conclusions

Modern information technology can significantly increase the personalization of learning activities and provide continuous feedback between a teacher and a student, through the widespread implementation of distance learning.

At the same time, in order to provide the required level of distance learning process, an important task is to design new information systems that will allow teachers to use various forms of communication with students in learning activities. Among existing e-learning systems, Moodle is the most functional, but difficult to use for users who are unfamiliar with web technologies.

## REFERENCES

1. Distance learning as a modern educational technology [Electronic source]: materials of the interuniversity webinar (c. Vinnytsia, 31 March 2017) / L.B. Lishchynska. – Vinnytsia; VITE KNUTE, 2017. – 102 p. (in Ukrainian)
2. Bissell C.C. The Open University of the United Kingdom / C. C. Bissell // *Leadership in Science and Technology: A Reference Handbook*. – 2011. – Vol. 2. – P. 24–32.
3. Katernyak I. Guide to the preparation and organization of electronic education. – K.: PLC “Farbovany lyst”, 2016. – 48 p.
4. 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>.
5. Shmatkov S.I., Kuchuk, N.G. and Donets V.V. (2018), “Model of information structure of the hyperconvergent system of support of electronic computing resources of university e-learning”, *Control systems, navigation and communication*, PNTU, Poltava, No. 2 (48), pp. 97-100.
6. Zikov, I.S., Kuchuk, N.H. and Shmatkov S.I. (2018), “Synthesis of architecture of the computer transaction management system e-learning”, *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, pp. 60-66, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>
7. Merlac, V., Smatkov, S., Kuchuk, N. and Nechausov A. (2018), “Resources Distribution Method of University e-learning on the Hypercovergent platform”, *Conf. Proc. of 2018 IEEE 9<sup>th</sup> International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT’2018*, pp. 136-140, – DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409114>
8. ISO/IEC 25000:2014 Systems and software engineering [Electronic source] – Available at: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso-iec:25000>
9. Schewe K.D., and Thalheim B., "Design and development of Web information systems", in *Systematic Development of Web Information Systems*. Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature, 2019, c. 471 – 529.
10. Development of an automated information system “Portal of university department”/The Scientific Journal "Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University// T.M. Derkach, T. A. Dmytrenko, A.O. Dmytrenko – Kremenchuk: KrNU, 2017. – Edition 1 (102) – P. 32-40. (in Ukrainian)
11. World experience of organization and development of university distance learning system/Institute of Higher Education KNEU named after V. Hetman; Kulaha I. V., Ilnytsky D. O., Strelnyk S. O. – Kyiv, 2013. – 38 p. (in Ukrainian) - Text available on the Internet: [http://kneu.edu.ua/userfiles/education2\\_0/13-4713\\_verstka\(1\).pdf](http://kneu.edu.ua/userfiles/education2_0/13-4713_verstka(1).pdf).
12. Moodle [Electronic source] – Available at: <https://moodle.org>.
13. Holger Weber; Stefan Zalewski; Thorsten Kastenholz. E-Learning in der Lehre: Übersicht und Beispiel Implementation mit ILIAS. — Grin Verlag GmbH, 2009. — ISBN 9783640238361.
14. ATutor releases [Electronic source] – Available at: <https://github.com>.

Received (Надійшла) 29.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.05.2021

## Технологічні особливості розробки систем електронного навчання

А. С. Ломанченко, О. С. Хлопонін, Т. М. Деркач, Т. А. Дмитренко

**Анотація.** Сучасні інформаційні технології можуть значно збільшити персоналізацію навчальної діяльності та забезпечити постійний зворотний зв'язок між викладачем та студентом завдяки широкому впровадженню дистанційного навчання. У той же час, для забезпечення необхідного рівня процесу дистанційного навчання важливим завданням є розробка нових інформаційних систем, які дозволять вчителям використовувати різні форми спілкування зі студентами в навчальній діяльності. Досліджено електронні освітні ресурси. У статті описано та проаналізовано найпопулярніші веб-платформи для електронної освіти та визначено, що система Moodle є найбільш функціональною, проте складною у використанні для користувачів, які не знайомі з веб-технологіями. Розглянуто особливості електронних освітніх ресурсів та головні вимоги до їх дизайну та функціоналу. У роботі описано актуальність та доцільність використання інформаційних технологій у освіті та запропоновано інформаційну систему електронної освіти власної розробки, визначено її основні функції, сценарії роботи та описано систему на абстрактному рівні. Надана характеристика основних користувачів та визначено їх зв'язки із варіантами використання системи.

**Ключові слова:** інформатизація, освітні інтернет ресурси, електронне навчання, інтерфейс користувача, інформаційні системи, комп'ютеризація, диджиталізація.

М. В. Підгорний<sup>1</sup>, Я. Рахімі<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна

<sup>2</sup>Національного аерокосмічного університету ім. М.С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАНЬ ТОВАРІВ

**Анотація.** Визначена недостатня ефективність існуючих засобів інформаційної підтримки повного ланцюга постачання, обумовлена необхідність їх модернізації. **Метою роботи** є застосування системного підходу як методології побудови інформаційної технології підвищення системної ефективності ланцюга постачання товарів. **Результати.** У статті сформувані деякі проблеми і підходи до інформатизації виробничих процесів повного ланцюга постачання товарів. Подано застосування системного підходу як методології побудови інформаційної технології підвищення системної ефективності ланцюга постачання товарів. Інтеграція інформаційних і виробничих технологій забезпечує високу якість обслуговування повного ланцюга постачання товарів. Формування інформаційного середовища необхідне для вирішення усього комплексу завдань соціального, економічного, науково-технічного управління повним ланцюгом постачання товарів.

**Ключові слова:** системний підхід, життєвий цикл, ланцюг постачання товарів.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В сучасному світі ефективність бізнес процесів на регіональному та національному рівнях, значною мірою залежить від якості організації логістичних систем. Типовим об'єктом тут виступає повний ланцюг постачання (ПЛП) товарів, що є складною соціоекономічною системою, яка складається із великої кількості постачальників сировини, фокусної компанії (переробка та пакування), складських терміналів, дистриб'юторів, митних брокерів, 3PL та 4PL-провайдерів, рітейлерів.

За своєю природою, ПЛП є складною динамічною системою, для функціонування якої характерні такі особливості: порівняно велика кількість незалежних учасників бізнес процесів; важко формалізуемий характер взаємодії між учасниками ПЛП, які часто є конкурентами; висока динаміка змін у середині системи, що мають місце при функціонуванні ПЛП [1].

Зазначені обставини та необхідність розгляду проблеми в цілому визначають недостатню ефективність існуючих засобів інформаційної підтримки ПЛП, та обумовлюють необхідність їх модернізації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у розвиток питань, пов'язаних із використанням інформаційних технологій та систем для управління життєвим циклом ПЛП, внесли такі вітчизняні і зарубіжні вчені: М.М. Полторацький, А.М. Кублій, Н.В. Ващенко, Дж. Сток [2], Д. Ламберт, Д. Уотерс, Дж. Клосс [3] та ін. Визначні результати в цьому напрямку отримані науководослідними центрами таких розробників як Dassault Systemes (Франція), Siemens PLM Software (Німеччина), Unigraphics (США) та ін. Поряд із цим, специфіка функціонування ПЛП не дозволяє безпосередньо задіяти відповідні стандартні засоби автоматизації процесів взаємодії учасників ланцюга, оскільки ці розробки не забезпечують ефективного вирішення всього комплексу задач інформаційної підтримки процесів в межах повного ланцюга.

**Метою роботи** є застосування системного підходу як методології побудови інформаційної технології підвищення системної ефективності ланцюга постачання товарів.

### Основний матеріал

Основні напрями підвищення системної ефективності ПЛП за рахунок інформатизації виробництва і управління: інтелектуалізація, що забезпечує широке впровадження засобів обчислювальної техніки для автоматизації рутинних операцій діяльності інженерно-технічних працівників і фахівців, що породжують нові моделі діяльності, в яких різко зростає творчий елемент, тобто інтелектуальна віддача працівників [4]; індивідуалізація, що забезпечує впровадження інформаційних, обслуговуючих систем, орієнтованих на рішення індивідуальних завдань предметної області; інтеграція, що забезпечує раціональне використання засобів обчислювальної техніки ПЛП, що мають індивідуальні властивості. Інтеграція інформаційних і виробничих технологій забезпечує високу якість транспортного обслуговування, впровадження нових видів обслуговування.

Інформаційна інфраструктура ПЛП повинна включати розвинену мережу ЕОМ, різні види автоматизованих систем, включаючи експертні системи, широку номенклатуру засобів механізації і автоматизації транспортно-складських і вантажних операцій, технологічних процесів ремонту і обслуговування, контролю і діагностики рухливого складу.

Розглянемо основні напрями інформатизації виробничих процесів з урахуванням існуючих або створюваних організаційних і функціональних структур.

На кожному ієрархічному рівні формуються локальні цілі, що витікають із загальних цілей суспільства по даному напрямку предметної діяльності, властивості об'єктів і процесів інформатизації, функції, що забезпечують реалізацію намічених властивостей, завдання, що забезпечують виконання наміченої множини функцій, і автоматизовані підсистеми.

ми, що реалізують множину завдань і що забезпечують досягнення заданих цілей.

Комплекс засобів підтримки інформаційно-комунікаційної технології логістики складається із сукупності засобів методичного, організаційного, інформаційного, програмного й технічного забезпечення у відповідності до [4].

Різні види забезпечень інформаційно-комунікаційної технології логістики взаємозв'язані і задачу багатопланової оптимізації можна звести до однопланової за рахунок їх ранжування та впорядкування, а також взаємозв'язного відображення [5-16]. Застосовуючи системну модель до різних видів забезпечень інформаційно-комунікаційної технології логістики, можна упорядкувати в таку логічну послідовність як подано в [17, 18].

Особливості проектування систем управління ПЛП полягають у застосуванні системних моделей та методу системного проектування, на базі механізму адаптації інформаційних систем на етапах ЖЦ функціонування ПЛП, що дає змогу створити комплекс засобів, упорядкувати всю множину локальних задач функціонування та оптимізації загального завдання за принципом «об'єкт управління → цілі → засоби».

Наявність інформаційної невизначеності на етапах ЖЦ функціонування ПЛП та процедури прийняття рішень фокусною компанією впливає на постановку задачі вирішення проблеми, коли кількість зворотних звернень (схем) слід збільшити для досягнення бажаного результату, який задовольняв би умову управління.

Складність ПЛП на основі програмування ЖЦ визначається складом її елементів:

( $V$  – інфраструктура ПЛП;

$U$  – керуючі підсистеми ПЛП;

$B$  – керовані підсистеми ПЛП;

$W$  – зовнішнє середовище, що взаємодіє з  $V$ ,  $U$ ,  $B$  та зв'язків:

а) елементи функціональних підсистем  $B$ , які визначені функцією  $S(B)$ ;

б) зв'язки  $S_B$  елементів функціональних підсистем  $B$ , які визначені функцією  $S(S_B)$ ;

в) зв'язки  $S_{BV}$  між функціональними підсистемами  $B$  та інфраструктурою  $V$ , які визначені функцією  $S(S_{BV})$ ;

г) зв'язок  $S_W$  компонентів системи  $\langle V, U, B \rangle$  із зовнішнім середовищем  $W$ , які визначені функцією  $S(S_W)$ .

Загальна складність ПЛП буде відображена сумою її компонентів:

$$S_r = S(B) + S(S_B) + S(S_{BV}) + S(S_W).$$

Значений набором ознак (властивостей), що дозволяють однозначно відповісти на запитання про можливість використання даного елемента при заданих зовнішніх умовах функціонування ПЛП  $X_j$ .

Вибір множини елементів ПЛП, властивості яких допускають використання їх при умовах експлуатації, що очікуються опираються на відображення

$$F: Y \rightarrow X,$$

володіють такими властивостями:

$$1 \quad \forall y_{\mu l} \in Y, \exists x_{ij} \in X_j: F(y_{\mu l}) = x_i \in (x_{i,j-1}, x_{i,j}); \\ \mu = 1, 2, \dots, M_l; l = 1, 2, \dots, L; j = 1, 2, \dots, J_j; \\ i = 1, 2, \dots, I;$$

$$2. \quad \text{Якщо } F(y_{\mu l}) = x_i \in X_j, F(y_{\mu+1l}) = x_k \in X_{j+1}, \\ \text{то } y_{\mu l} \leq y_{\mu+1l}; \mu = 1, 2, \dots, M_l; l = 1, 2, \dots, L; \\ j = 1, 2, \dots, J_j; i, k = 1, 2, \dots, K.$$

Властивість 2 дозволяє частково впорядкувати множину елементів ПЛП по ступеню їхньої відповідності можливим умовам функціонування ПЛП, а властивість 1 гарантує закінченість процесу вибору.

Проаналізуємо процес взаємодії множин  $X$  і  $Y$  при формуванні ПЛП.

Елемент ПЛП  $y_{\mu l}$  буде розташований в  $R_{\mu l}$  в іншому місці об'єкта ПЛП з наступною його експлуатацією протягом відрізка часу  $[t_0, T]$ .

При цьому допускаємо, що відомий процес зміни зовнішніх умов  $y_{r-m}$ ,  $r = 1, 2, \dots, R_{\mu l}$ ; місці об'єкта ПЛП, і задається послідовністю  $\{X_t(t)\}$ ,  $r = 1, 2, \dots, R_{\mu l}$ ;  $t \in [t_0, T]$ .

Основні напрями в процесі вирішення проблеми інформатизації ПЛП:

- формування функцій управління і логічної структури їх взаємозв'язку по усіх рівнях ієрархії і етапах ЖЦ ПЛП;

- розробка і оптимізація інформаційно-виробничих і організаційно-функціональних структур управління виробництвом на усіх етапах ЖЦ ПЛП;

- формування критеріїв системної ефективності функціонування ПЛП в умовах інформатизації;

- декомпозиція завдань оптимізації і управління з урахуванням забезпечення системної ефективності функціонування ПЛП;

- розробка комплексу математичних моделей для вирішення завдань управління і оптимізації ПЛП;

- створення інформаційно-телекомунікаційної мережі зв'язку в єдиний керівник технологічний комплекс як по рівнях ієрархії, так і по етапах ЖЦ ПЛП;

- розробка програмно-методичних комплексів (ПМК) інваріантного застосування для вирішення оптимізаційних і інформаційних завдань ПЛП;

- розробка технологічних регламентів і відповідних документів організаційно-правової і інформаційної взаємодії на усіх рівнях ієрархії і етапах ЖЦ ПЛП в процесі формування прийняття і реалізації управлінських рішень;

- формування баз даних і знань як наукової основи розвитку ідей інформатики в предметній області діяльності.

## Висновки

У статті сформувані деякі проблеми і підходи до інформатизації виробничих процесів повного ланцюга постачання товарів.

Одне з основних питань інформатизації - формування нового інформаційного середовища, необ-

хідного для вирішення усього комплексу завдань соціального, економічного, науково-технічного управління предметними областями діяльності в ПЛП. Використовуючи запропоновані підходи і методи

інформатизації, можна підвищити ефективність функціонування ПЛП, спростити організаційні структури управління, створити кращі умови для інформованості.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kudhair Abed Thamer. Development of an approach to managing dry fruit supply chains using expert systems / Abed Thamer Kudhair, Yashar Rahimi // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2020. – № 4/3 (106). – С. 16 – 22.
2. Сток Дж.Р., Ламберт Д.М. Стратегическое управление логистикой: Пер. с 4-го англ. изд. - М.: ИНФРА-М. – 2005. - 797 с.
3. Дж. Клосс Логистика - М.: «ОЛИМП-БИЗНЕС». -2008. - 636 с.
4. Підгорний М.В. Інформатизація виробничих процесів транспортної інфраструктури / «Вісник Черкаського державного-технологічного університету». – Черкаси. - 2014. - №1. – С. 37-44.
5. 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>.
6. 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>
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. 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>
9. Кучук Н. Г. Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних / Н. Г. Кучук, В. Ю. Мерлак, В. В. Скороделов // *Сучасні інформаційні системи*. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 97-102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
10. 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>
11. 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>
12. 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. – Вип. 2(42). – С. 117-120.
13. Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.
14. Кучук Г.А. Распределение каналов по трактам узла коммутации при адаптивной маршрутизации / Г.А. Кучук // Вестник НТУ «ХПИ». – Х.: НТУ «ХПИ», 2003. – № 26. – С. 167 – 172.
15. Кучук, Г.А. Метод уменьшения времени передачи данных в беспроводной сети / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2011. – Вип. 3 (19). – С. 209–213.
16. Kovalenko, A.A. (2014), “Approaches to the synthesis of the information structure of the system for managing an object of critical application”, *Information Processing Systems*, No. 1 (117), pp. 180-184.
17. Підгорний М.В., Веретюк С. М. Системний підхід до управління життєвим циклом інформаційно-комунікаційної технології Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць, Випуск 1(63) Національний університет “Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка”– Полтава. - 2021. - №1. – С.100-103.
18. Підгорний М.В. Впровадження системних досліджень в логістичні процеси Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців» Тези доповідей, 19-20 жовтня 2017р. –Харків. - Вид-во: ХНАДУ. – Харків, 2017. –с.38-41

Received (Надійшла) 29.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.03.2021

### System approach to construction of information technology to increase the efficiency of the goods supply chain

M. Pidgorny, J. Rahimi

**Abstract.** Insufficient efficiency of the existing means of information support of the full supply chain is determined, the necessity of their modernization is caused. **The aim of the work** is to use a systematic approach as a methodology for building information technology to increase the system efficiency of the supply chain. **Results.** The article forms some problems and approaches to the informatization of production processes of the full supply chain. The application of the system approach as a methodology for building information technology to increase the system efficiency of the supply chain is presented. Integration of information and production technologies provides high quality service of the full supply chain. The formation of the information environment is necessary to solve the whole set of tasks of social, economic, scientific and technical management of the full supply chain of goods.

**Keywords:** systems approach, life cycle, supply chain.

А. І. Поворознюк, О. А. Поворознюк, Г. Є. Філатова

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА АЛЬТЕРНАТИВ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ДВОХФАКТОРНОЇ АВТЕНТИФІКАЦІЇ СУБ'ЄКТІВ-КОРИСТУВАЧІВ В СИСТЕМАХ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

**Анотація.** Робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі підвищення рівня захищеності інформації шляхом проєктування двохфакторної автентифікації суб'єктів-користувачів в системах захисту інформації при багатокритеріальному порівнянні складових двохфакторної автентифікації. На основі аналізу методів автентифікації суб'єктів-користувачів, які використовуються при захисті інформації, була обґрунтована множина найбільш вживаних методів та сфери їх застосування. **Мета дослідження** – багатокритеріальна оцінка альтернативних методів автентифікації суб'єктів-користувачів при проєктуванні двохфакторної автентифікації в системах захисту інформації. **Результати.** В роботі проаналізовані методи автентифікації суб'єктів-користувачів, зокрема перспективні методи біометричної автентифікації з метою побудови двохфакторної автентифікації. Для багатокритеріального порівняння методів автентифікації обґрунтовано застосування методу аналізу ієрархій (МАІ), який реалізує ієрархічну структуру порівняння альтернатив. На кожному рівні МАІ будуються відповідні матриці парних порівнянь, елементами яких є експертні оцінки. Розроблена система локальних критеріїв порівняння альтернатив та відповідні матриці парних порівнянь а також матриця парних порівнянь локальних критеріїв та процедура обчислення глобального критерію.

**Ключові слова:** захист інформації, двохфакторна автентифікація, альтернатива, багатокритеріальне порівняння, метод аналізу ієрархій, локальний критерій, матриця парних порівнянь, глобальний критерій.

### Вступ

Бурхливий розвиток засобів обчислювальної техніки, автоматизованих інформаційних систем, поява нових інформаційних технологій супроводжується, на жаль, і появою таких малоприємних явищ, як промислове шпигунство, комп'ютерна злочинність і, перш за все, несанкціонований доступ (НСД) до конфіденційної інформації. Цим обумовлюється актуальність і значимість проблеми захисту інформації.

Будь-яке сучасне підприємство (установа, фірма і т.д.), незалежно від виду діяльності та форм власності, не може сьогодні успішно розвиватися і вести господарську та іншу діяльність без створення надійної системи захисту своєї інформації, що включає не тільки організаційно-нормативні заходи, але і програмно-апаратні засоби контролю безпеки інформації при її обробці, зберіганні і передачі в автоматизованих системах [1, 2].

Тому захищена система обробки інформації для заданих умов експлуатації повинна забезпечувати безпеку (конфіденційність і цілісність) оброблюваної інформації і підтримувати свою працездатність в умовах впливу на неї різних типів загроз [3, 4], зокрема несанкціонованих втручань.

Протидією від несанкціонованого доступу є шифрування інформації [5], а також розмежування доступу суб'єктів-користувачів до інформаційних ресурсів системи [6]. При реалізації доступу користувачів виконується перевірка їх автентичності.

### Постановка проблеми в загальному вигляді

Автентифікація (англ. Authentication) - це основа безпеки будь-якої системи, яка полягає в перевір-

ці достовірності даних про користувача сервером. Вона не тотожна ідентифікації та авторизації. Ці три терміни є елементами захисту інформації. Перша стадія – ідентифікація. На ній відбувається розпізнавання інформації про користувача, наприклад, логін і пароль. Друга стадія – аутентифікація. Це процес перевірки інформації про користувача. Третя стадія – авторизація. Тут відбувається перевірка прав користувача і визначається можливість доступу.

При цьому застосування для автентифікації суб'єктів-користувачів традиційної схеми «логін-пароль» не виключає її принципового недоліку, який полягає у відокремленості особи, що авторизується, від ключа, який використовується для підтвердження її автентичності. Цей недолік відсутній в схемах автентифікації суб'єкта за його індивідуальними біометричними параметрами [7, 8].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В даний час застосовуються такі методи аутентифікації [2]:

1. Парольні. Найпоширеніший метод. Аутентифікація може проходити по одноразовим і багаторазовим паролем. Багаторазовий пароль задає користувач, а система зберігає його в базі даних. Він є однаковим для кожної сесії. До них відносяться PIN-коди, слова, цифри, графічні ключі. Одноразові паролі – різні для кожної сесії. Це може бути SMS з кодом.

2. Комбіновані. Аутентифікація відбувається з використанням декількох методів, наприклад, паролів і криптографічних сертифікатів.

3. Біометричні. Перевірка проходить по фізіологічним характеристикам користувача, зокрема, по відбитку пальця, сітківці ока, тембру голосу, сканеру обличчя і навіть ДНК [8-10].

4. Персональні дані користувача. Вона використовується для відновлення логіна або пароля і для двоетапної автентифікації, щоб забезпечити безпеку. До цього методу відноситься номер телефону, дівоче прізвище матері, рік народження, дата реєстрації, кличка вихованця, місце проживання.

5. Інформація про користувача. Цей метод ґрунтується на геоданих про місцезнаходження користувача з використанням GPS, а також про точках доступу бездротового зв'язку.

Залежно від кількості методів, що використовуються, розрізняють однофакторну (використовується тільки один метод) та багатофакторну автентифікацію. В якості багатофакторної автентифікації найчастіше застосовується двофакторна автентифікація, в якій поєднується паролний метод з іншим альтернативним методом.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є багатокритеріальна оцінка альтернативних методів автентифікації суб'єктів-користувачів при

проектванні двофакторної автентифікації в системах захисту інформації.

### Результати досліджень

Для формалізації рішення розглянутої задачі багатокритеріальної оцінки альтернатив ефективно використовуються методи підтримки прийняття рішень, зокрема декомпозиційний МАІ, метою якого є декомпозиція проблеми і ієрархічне представлення її складових частин для подальшого аналізу по парним порівнянь об'єктів [11].

У найпростішому випадку схема МАІ є тривірневою ієрархією, яка представлена на рис. 1 (можливі більш складні ієрархії).

Вершиною ієрархії є домінанта (мета, яка досягається при вирішенні проблеми). Проміжні рівні ієрархії зазвичай являють собою критерії, за допомогою яких оцінюються більш низькі рівні.

Найнижчий рівень представляє з себе можливі варіанти вирішення даної проблеми (альтернативи).

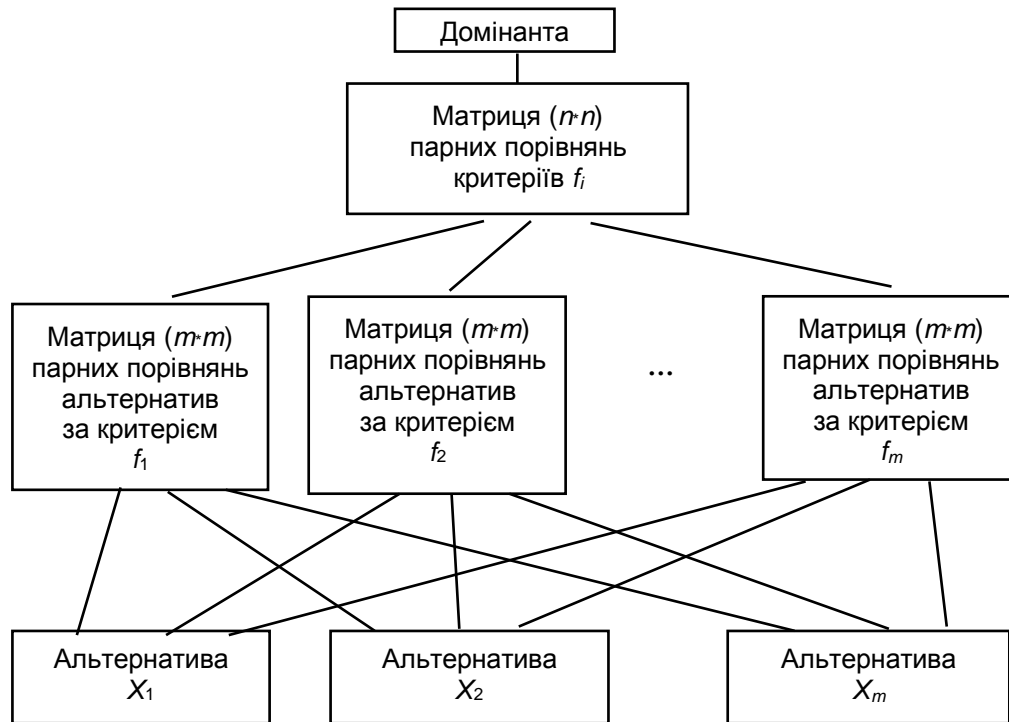


Рис. 1. Тривірнева схема ієрархії МАІ

На рис. 1 представлено  $m$  альтернатив  $X_i$  ( $i = \overline{1, m}$ ), які повинні порівнюватися за системою  $n$  локальних критеріїв  $f_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ) (в загальному вигляді критерії різномірні і суперечливі).

Для проведення суб'єктивних парних порівнянь і заповнення відповідних матриць парних порівнянь (МПП) експертом використовується 9-ти рівнева шкала бальних оцінок, які відображають ступінь переваги об'єктів, що порівнюються:

- 1 – рівна важливість порівнюваних об'єктів;
- 3 – помірна перевага;
- 5 – істотна перевага;
- 7 – значна перевага;
- 9 – дуже сильна перевага;

2, 4, 6, 8 – проміжні значення.

Якщо можлива чисельна оцінка порівнюваних об'єктів, то результати чисельної оцінки приводяться до зазначеної шкалою. Таким чином, експертам пропонується заповнити  $n$  МПП альтернатив розмірністю  $m \times m$  по кожному з локальних критеріїв  $f_i$  і одну МПП локальних критеріїв розмірністю  $n \times n$ .

Елементами МПП розглянутої ієрархії  $a_{ij}$  є результати суб'єктивних парних порівняння об'єктів нижчого рівня в термінах розглянутої вище 9-рівневої шкали.

З групи МПП нижнього рівня ієрархії формується набір локальних пріоритетів, за якими, з урахуванням МПП наступного рівня формуються глобальні пріоритети альтернатив. Рішення приймає-



ся на користь альтернативи, яка має максимальний глобальний пріоритет.

За отриманими МПП кожного рівня ієрархії обчислюються локальні пріоритети порівнюваних елементів згідно виразу

$$W_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} / \sum_{l=1}^n \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{lk}} \quad (1)$$

де  $n$  – розмір матриці парних порівнянь (кількість порівнюваних об'єктів);

$a_{ij}$  – результат парного порівняння  $i$ -го та  $j$ -го об'єктів;

$w_i$  – локальний пріоритет  $i$ -го об'єкта.

Таким чином, формується матриця локальних пріоритетів нижнього рівня  $W_1$  розмірністю  $m \times n$  елементів і вектор-стовпець верхнього рівня  $W_2$  розмірністю  $n$  елементів.

Елементи  $W_1$  і  $W_2$  визначаються по (1) для відповідних МПП. Слід зазначити, що кожен  $j$ -й стовпець матриці  $W_1$  відповідає своєму локальному критерію  $f_j$  (обчислюється по  $j$ -й МПП першого рівня), а кожний  $i$ -й рядок матриці  $W_1$  відповідає  $i$ -й альтернативі.

Вектор глобальних пріоритетів альтернатив  $W_g$  розмірністю  $m$  елементів визначається множенням відповідних локальних пріоритетів різних рівнів ієрархії за виразом

$$W_g = W_1 \times W_2 \quad (2)$$

Остаточним рішенням є та альтернатива  $X_i$ , для якої елемент вектору глобальних пріоритетів є максимальним  $W_{gi} \rightarrow \max$ .

Особливістю МАІ є обчислення індексу узгодженості  $I_s$ , який дає інформацію про рівень порушення чисельної і транзитивної узгодженості (ступінь достовірності судження експерта щодо порівнюваних елементів)

$$I_s = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \times \left( \sum_{j=1}^n a_{ji} \right) - n}{n - 1}, \quad (3)$$

де  $n$  – розмір МПП;

$a_{ij}$  – елементи МПП;

$w_i$  – локальні пріоритети МПП, які визначаються по (1).

Для обчислення помилки узгодженості  $\Delta_s$ , індекс узгодженості  $I_s$  ділиться на індекс узгодженості  $I_{ss}$  МПП такої ж розмірності, але заповненої випадковим чином.

$$\Delta_s = I_s / I_{ss}. \quad (4)$$

При обчисленні  $\Delta_s$  по (4), використовуються табличні значення  $I_{ss}$ , які наведені в табл. 1 [11].

Таблиця 1 – Індеси узгодженості випадкових матриць

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{ss}$	0,0	0,0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Індекс узгодженості і помилка узгодженості обчислюються для кожної матриці по (3, 4). При помилці узгодженості більше 10% експерту рекомендується переглянути свої судження щодо порівнюваних об'єктів, так як величина відносних ваг може не відповідати дійсній, що може привести до побудови неадекватної моделі.

З вищесказаного випливає, що для багатокритеріальної оцінки альтернатив по МАІ необхідно задати альтернативи  $X_i$  ( $i = \overline{1, m}$ ), і локальні критерії порівняння альтернатив  $f_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ), після чого побудувати ієрархію згідно рис. 1, в якій за допомогою експертів заповнити МПП.

Для побудованої ієрархії по (1) обчислити локальні пріоритети всіх рівнів, а по (2) глобальні пріоритети альтернатив.

Для двохфакторної автентифікації суб'єктів-користувачів в системах захисту інформації розглянемо розглянемо перелік альтернатив біометричних показників і критерії їх порівняння.

$X_1$  – Відбитки пальців. Сканери мають невеликий розмір, універсальні, відносно недорогі. Біологічна повторюваність відбитка пальця становить 10-5%. В даний час створюються архіви відбитків пальців.

$X_2$  – Геометрія руки. Відповідні пристрої використовуються, коли з-за бруду або травм важко за-

стосовувати сканери пальців. Біологічна повторюваність геометрії руки близько 2%.

$X_3$  – Райдужна оболонка ока. Дані пристрої мають найвищу точність. Теоретична ймовірність збігу двох райдужних оболонок становить  $1$  з  $10^{78}$ .

$X_4$  – Термічний образ обличчя. Системи дозволяють ідентифікувати людину на відстані до десятків метрів. У комбінації з пошуком даних по базі даних такі системи використовуються для розпізнавання авторизованих співробітників і відсіювання сторонніх. Однак при зміні освітленості сканери особи мають відносно високий відсоток помилок.

$X_5$  – Розпізнавання по обличчю. Системи на основі даного підходу дозволяють ідентифікувати персону в певних умовах з похибкою не більше 3%. Даний метод зручний тим, що він дозволяє реалізацію штатними засобами (веб-камера). Деякі (не всі) методи мають недоліком можливість підміни реальної людини на його фотографію.

$X_6$  – Голос. Перевірка голосу зручна для використання в телекомунікаційних додатках. Необхідні для цього 16-розрядна звукова плата і конденсаторний мікрофон коштують менше 25\$. Імовірність помилки становить 2 - 5%.

$X_7$  – Введення з клавіатури. Тут при введенні, наприклад, пароля відслідковуються швидкість і інтервали між натисканнями.



$X_8$  – Динамікою рукописного підпису. Для контролю рукописного підпису використовуються дигітайзери.

Розглянемо локальні критерії порівняння альтернатив:

- $f_1$  – надійність ідентифікації;
- $f_2$  – ціна додаткового обладнання;
- $f_3$  – доступність придбання обладнання;
- $f_4$  – наявність спеціалізованого ПЗ;
- $f_5$  – необхідність підготовки персоналу;
- $f_6$  – накладні витрати на встановлення та обслуговування;
- $f_7$  – бренд виробника.

Матриці парних порівнянь нижнього рівня (порівняння альтернатив по кожному локальному критерію) заповнюються експертами один раз, незалежно від типу, призначення та конкретних

вимог до системи захисту інформації. Матриці парних порівнянь верхнього рівня (порівняння локальних критеріїв) формується окремо для кожної конкретної системи з врахуванням всіх особливостей і вимог.

### Висновки та перспективи подальших досліджень

У статті розроблено математичну модель двохфакторної автентифікації суб'єктів-користувачів при багатокритеріальному порівнянні альтернатив з застосуванням методу аналізу ієрархій. Сформовано перелік альтернатив біометричних показників та критерії їх порівняння.

Подальші дослідження направлені на програмній реалізації та практичному застосуванні розробленої моделі.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гришук Р.В. Основи кібернетичної безпеки / Р.В. Гришук, Ю.Г. Даник – Житомир: ЖНАЕУ, 2016 – 616 с.
2. Замула О.А. Нормативно-правове забезпечення інформаційної безпеки. Комплексні системи захисту інформації: Навч. Посібник / О.А. Замула, Ю.І. Горбенко, А.І. Шумов – Харків: ХНУРЕ, 2010 – 48 с.
3. Brailovskiy N. Evaluation of the Level of Cyber Security of Information / Brailovskiy N., Khoroshko V., Khokhlacheva Y., Ayasrah Ahmad // Scientific and Practical Cyber Security Journal (SPCSJ), 2019 – Vol 3, N3, – pp. 18-24.
4. Дудат'єв А. В. Моделі для організації протидії інформаційним атакам / А. В. Дудат'єв // Захист інформації, 2015 – № 2. – С.157-162.
5. Горбенко І.Д. «Побудовання та аналіз систем, протоколів та засобів криптографічного захисту інформації». . Монографія / І.Д. Горбенко – Харків. Форт. 2015 – 902с.
6. Шевченко В.Л. Несанкціонований доступ до інформаційних ресурсів ERP-системи / В.Л. Шевченко, В.І. Кулажський, О.С. Кульчицький // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України ім. Івана Черняхівського, 2014 – № 1(50), – С. 9-12.
7. Цар'єв Р.Ю. Біометричні технології: навч. посіб. [для вищих навчальних закладів] / Р.Ю. Цар'єв, Т.М. Лемеха – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2016 – 140 с.
8. Методи і технології біометричної ідентифікації за результатами літературних джерел / Л.Г. Коваль, С.М. Злепко, Г.М. Новіцький, Є.Г. Кречотень // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, 2019 – Том 30 (69), Ч.1, № 2 – С. 104-112.
9. Ковтун В. В. Концепція впровадження автоматизованої системи розпізнавання мовця у процес автентифікації для доступу до критичної системи / В. В. Ковтун // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2018 – № 5 – С. 41–52.
10. Безик О.В. Разработка и анализ алгоритма биометрической аутентификации по рисунку кровеносных сосудов пользователя / О.В. Безик, М.А. Басараб // Молодой ученый, 2016 – № 8. – С. 116–119.
11. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс – М.: Радио и связь, 1991 – 224 с.

Received (Надійшла) 12.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.04.2021

### Multi-criterial assessment of alternatives in designing of two-factor authentication of users in information protection systems

Anatoly Povoroznyuk, Anna Filatova, Oksana Povoroznyuk

**Abstract.** The work is devoted to solving the urgent scientific and technical problem of increasing the level of information security by designing two-factor authentication of user subjects in information security systems with a multi-criteria comparison of the components of two-factor authentication. Based on the analysis of the authentication methods of user subjects that are used in the protection of information, a lot of the most used methods and their areas of application were substantiated. **The purpose** of the study is a multi-criteria assessment of alternative methods of authentication of user subjects during designing two-factor authentication in information security systems. **Results.** The paper analyzes methods of authentication of user subjects, including perspective methods of biometric authentication in order to build two-factor authentication. For multicriteria comparison of authentication methods, the use of the hierarchy analysis method (HAM) is justified, which implements the hierarchical structure of the comparison of alternatives. At each level of the HAM, the corresponding matrices of paired comparisons are built, the elements of which are expert assessments. A system of local criteria for comparing alternatives and the corresponding matrices of paired comparisons as well as a matrix of paired comparisons of local criteria and a procedure for calculating the global criterion have been developed.

**Keywords:** information security, two-factor authentication, alternative, multi-criteria comparison, hierarchy analysis method, local criterion, matrix of paired comparisons, global criterion.

Л. Г. Раскін, О. В. Сіра, Ю. Л. Парфенюк

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

## УПРАВЛІННЯ ПОСТАВКАМИ В УМОВАХ МАЛОЇ ВИБІРКИ ВИПАДКОВИХ ВИХІДНИХ ДАНИХ

**Анотація.** Розглянуто задачу відшукування оптимального плану транспортувань продукту в системі «постачальник - споживач» в ситуації, коли вартості транспортувань - випадкові величини. Сформульовано модель задачі. Запропоновано критерій оптимальності плану - ймовірність того, що сумарна випадкова вартість транспортувань перевищить заданий допустимий поріг. В умовах малої вибірки вихідних даних коректне відновлення щільності розподілу випадкової вартості транспортувань неможливе. Тому розглянуті варіанти аналітичного подання критерію для різних законів розподілу випадкової вартості транспортувань: гаусом, асиметричною і «найгіршою». Параметри «найгіршого» закону розподілу відшукуються методом континуального лінійного програмування. Для вирішення задачі запропонована ітераційна процедура, на кожному кроці якої вирішується задача квадратичного програмування. Обґрунтовано метод прискорення обчислювальної процедури, заснований на оптимізації дробово-нелінійної функції з лінійними обмеженнями. Показано, що оптимальний план перевезень визначається тільки значеннями математичного сподівання і дисперсії вартостей транспортувань, але не залежить від закону розподілу цих випадкових величин.

**Ключові слова:** транспортна задача лінійного програмування, випадкові значення вартостей транспортувань, дробово-нелінійна оптимізація.

### Вступ

Канонічна транспортна задача лінійного програмування формується таким чином [1-4]. Задані пункти виробництва певного продукту  $A_1, A_2, \dots, A_m$  та пункти споживання цього продукту  $B_1, B_2, \dots, B_n$ . Для кожного пункту виробництва  $A_i$  визначено об'єм  $a_i$  виробництва,  $i = 1, 2, \dots, m$ , а для кожного пункту  $B_j$  - обсяг  $b_j$  споживання,  $j = 1, 2, \dots, n$ . Крім того, передбачається, що відомі маршрути транспортування продукту від виробників до споживачів і задана відповідна матриця значень  $C_{ij}$  середньої вартості транспортування одиниці продукту  $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ . Потрібно знайти матрицю  $X = (x_{ij})$  значень планованих обсягів транспортування, яка мінімізує

$$L(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

і задовольняє обмеженням

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j. \quad (4)$$

При цьому для урахування стохастичного характеру вартості транспортування вводиться набір середніх значень  $(\bar{c}_{ij})$  вартостей для кожної пари постачальник - споживач,  $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ . Тоді цільова функція (1), яка визначає сумарну середню вартість транспортувань, приймає вигляд

$$L(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_{ij} x_{ij}. \quad (5)$$

Для обліку стохастичного характеру потреб також використовується набір середніх значень  $(\bar{b}_j)$  цих величин. Тоді обмеження (3) приймуть вигляд

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq \bar{b}_j, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

У цій ситуації канонічна транспортна задача перетвориться на наступну: знайти план транспортувань  $X = (x_{ij})$ , мінімізуючий (5) та задовольняючий обмеженням (2), (4), (6). Отримана задача вирішується звичайним методом потенціалів [1-2]. Недоліки наведеної моделі завдання очевидні. По-перше, в умовах великих значень дисперсій вихідних випадкових параметрів задачі її рішення в формі (2), (4) - (6) для кожної конкретної реалізації плану може виявитися незадовільним. По-друге, дисперсія оцінки результату (середнього значення критерію) в цих умовах буде непринятно великою, отже, критерій виявиться мало інформативним.

Удосконалення моделі (2), (4) - (6) доцільно здійснити в наступних напрямках. Як більш інформативного критерію ефективності транспортувань пропонується використовувати ймовірність того, що випадкові сумарні витрати не перевищать деякого заданого порогу [5]. Зрозуміло, що ця ймовірність залежить одночасно від значень математичних сподівань і дисперсій випадкових вартостей транспортувань для кожного з маршрутів і буде тим більшою, чим ці статистичні характеристики відповідних випадкових величин будуть менше. З іншого боку, раціональні значення потреби для кожного з пунктів споживання продукту, що впливають на план і вартість перевезень, визначаються рівнем попиту в цих конкретних пунктах. Оптимальні значення цих величин природно вибрати, мінімізуючи

середні витрати, що виникають при зберіганні нерелізованого продукту, і можливі втрати від дефіциту в кожному з пунктів споживання. Відповідно до цього **мета статті** - розробка адекватної математичної моделі задачі управління перевезеннями і ефективних методів вирішення цього завдання.

**Постановка задачі**

Нехай за результатами попередніх досліджень для кожної пари  $(i, j)$  (виробник - споживач) визначені оцінки математичного сподівання  $m_{ij}$  та дисперсії  $\sigma_{ij}^2$  випадкового значення вартості транспортування  $c_{ij}$  одиниці продукту. Прийемо, що щільності розподілу відповідних випадкових величин - гаусові. Тоді для плану транспортування  $X = (x_{ij})$  випадкове значення сумарної вартості транспортувань  $L(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$  також має гаусів розподіл з параметрами

$$m_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n m_{ij} x_{ij} \quad \text{і} \quad \sigma_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^2.$$

При цьому ймовірність того, що випадкова сумарна вартість  $L(x)$  перевищить припустимий поріг  $d_{\Pi}$ , визначається співвідношенням [6]:

$$P(L(x) \geq d_{\Pi}) = \int_{d_{\Pi}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\Sigma}}} \exp\left\{-\frac{(L(x) - m_{\Sigma})^2}{2\sigma_{\Sigma}^2}\right\} dL(x). \quad (7)$$

Введемо тепер для кожного пункту споживання  $j$  відповідну щільність розподілу  $\phi_j(\theta_j)$  випадкового попиту  $\theta_j$ , введемо для стислості,  $Z_j = \sum_{i=1}^m x_{ij}$ .

Тоді для плану транспортувань  $X = (x_{ij})$  середнє значення витрат на зберігання нерелізованого продукту  $R_j^{(1)}(Z_j)$ ,  $R_j^{(2)}(Z_j)$  - середні втрати від дефіциту та середні сумарні втрати  $R_j(Z_j) = R_j^{(1)}(Z_j) + R_j^{(2)}(Z_j)$  визначаються співвідношеннями

$$\begin{aligned} R_j^{(1)}(Z_j) &= \alpha_j \int_0^{Z_j} \left( \sum_{i=1}^m x_{ij} - \theta_j \right) \phi_j(\theta_j) d\theta_j; \\ R_j^{(2)}(Z_j) &= \beta_j \int_{Z_j}^{\infty} (\theta_j - Z_j) \phi_j(\theta_j) d\theta_j; \\ R_j(Z_j) &= \alpha_j \times \\ &\times \int_0^{Z_j} (Z_j - \theta_j) \phi_j(\theta_j) + \beta_j \int_{Z_j}^{\infty} (\theta_j - Z_j) \phi_j(\theta_j) d\theta_j, \quad (8) \end{aligned}$$

де  $\alpha_j$  - вартість зберігання одиниці товару у  $j$ -му пункті споживання,  $j=1, 2, \dots, n$ ,  $\beta_j$  - втрати за рахунок дефіциту одиниці продукту в  $j$ -му пункті споживання.

Визначимо тепер необхідне сумарне значення продукту що доставляється  $Z_j$  в  $j$ -й пункт споживання, мінімізуюче сумарні втрати (8), отримаємо

$$\begin{aligned} R_j(Z_j) &= \alpha_j \left[ \int_0^{Z_j} Z_j \phi_j(\theta_j) d\theta_j - \int_0^{Z_j} \theta_j \phi_j(\theta_j) d\theta_j \right] + \\ &+ \beta_j \left[ \int_{Z_j}^{\infty} \theta_j \phi_j(\theta_j) d\theta_j - \int_{Z_j}^{\infty} Z_j \phi_j(\theta_j) d\theta_j \right] = \\ &= \alpha_j Z_j \int_0^{Z_j} \phi_j(\theta_j) d\theta_j - \alpha_j \int_0^{Z_j} \theta_j \phi_j(\theta_j) d\theta_j + \\ &+ \beta_j \int_{Z_j}^{\infty} \theta_j \phi_j(\theta_j) d\theta_j - \beta_j Z_j \left( 1 - \int_0^{Z_j} \phi_j(\theta_j) d\theta_j \right) = \\ &= (\alpha_j + \beta_j) Z_j \int_0^{Z_j} \phi_j(\theta_j) d\theta_j - \\ &- \alpha_j \int_0^{Z_j} \theta_j \phi_j(\theta_j) d\theta_j + \beta_j \int_{Z_j}^{\infty} \theta_j \phi_j(\theta_j) d\theta_j - \beta_j Z_j. \quad (9) \end{aligned}$$

Далі отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{dR_j(Z_j)}{dZ_j} &= (\alpha_j + \beta_j) \int_0^{Z_j} \phi_j(\theta_j) d\theta_j + (\alpha_j + \beta_j) \times \\ &\times Z_j \phi_j(Z_j) - \alpha_j Z_j \phi_j(Z_j) - \beta_j Z_j \phi_j(Z_j) - \beta_j = \\ &= (\alpha_j + \beta_j) \int_0^{Z_j} \phi_j(\theta_j) d\theta_j - \beta_j = 0, \end{aligned}$$

звідки 
$$\int_0^{Z_j} \phi_j(\theta_j) d\theta_j = \frac{\beta_j}{\alpha_j + \beta_j}. \quad (10)$$

Отримане рівняння щодо  $Z_j$  завжди вирішується чисельно [7], однак, у багатьох випадках легко отримати аналітичне рішення. Нехай, наприклад, у важливому для практики окремому випадку реалізації швидкоконсумних продуктів щільність розподілу попиту визначається законом Релея

$$\phi_j(\theta_j) = \left( \theta_j / \sigma_j^2 \right) \cdot \exp\left\{-\theta_j^2 / (2\sigma_j^2)\right\}.$$

Тоді

$$\int_0^{Z_j} \frac{\theta_j}{\sigma_j^2} \exp\left\{-\frac{\theta_j^2}{2\sigma_j^2}\right\} d\theta_j = - \int_0^{Z_j} d\left(e^{-\theta_j^2 / 2\sigma_j^2}\right) = e^{-Z_j^2 / 2\sigma_j^2}.$$

При цьому, з урахуванням (10),

$$e^{-Z_j^2 / 2\sigma_j^2} = \beta_j / (\alpha_j + \beta_j); \quad -Z_j^2 / 2\sigma_j^2 = \ln\left(\beta_j / (\alpha_j + \beta_j)\right);$$

$$Z_j^* = \sigma_j \cdot \sqrt{2} \left( \ln \left( \frac{\alpha_j + \beta_j}{\beta_j} \right) \right)^{1/2}.$$

Таким чином, в цьому випадку задача управління перевезеннями в системі «постачальники - споживачі» в умовах невизначеності зведена до наступної: знайти план  $X = (x_{ij})$ , здатний мінімувати (7) і задовольняючий (2), (4), а також

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = Z_j^{(0)}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

де  $Z_j^{(0)}$  - вирішення рівняння (10)

### Основні результати

Розробка методу розв'язання задачі управління перевезеннями. Трансформуємо співвідношення (7).

$$\int_{d_{\Pi}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{\Sigma}}} \exp \left\{ -\frac{(L(x) - m_{\Sigma})^2}{2\sigma_{\Sigma}^2} \right\} dL(x) = \int_{(d_{\Pi} - m_{\Sigma})/\sigma_{\Sigma} = u}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du. \quad (12)$$

Завдання мінімізації (12) еквівалентне задачі максимізації

$$\begin{aligned} J(x) &= (d_{\Pi} - m_{\Sigma})/\sigma_{\Sigma} = \\ &= \left( d_{\Pi} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n m_{ij} x_{ij} \right) / \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^2} = \\ &= \left( \frac{d_{\Pi}}{A} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n m_{ij} x_{ij} \right) / \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^2} = (13) \\ &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left( \frac{d_{\Pi}}{A} - m_{ij} \right) x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^2} = \\ &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n s_{ij} x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^2}; \quad A = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij}; \end{aligned}$$

Можливі методи вирішення отриманої дрібно-

$$\begin{aligned} M[x] &= 2 / (1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}) \cdot \left[ \int_{-\infty}^m \frac{x}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left\{ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma_j^2} \right\} dx + \int_m^{\infty} \frac{x}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left\{ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma_j^2} \right\} dx \right] = \\ &= \frac{2}{1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}} \left[ \frac{1}{\sqrt{1-\theta}} \int_{-\infty}^m \frac{x\sqrt{1-\theta}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp \left\{ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma_j^2} \right\} dx + \frac{1}{\sqrt{1+\theta}} \int_m^{\infty} \frac{x\sqrt{1-\theta}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp \left\{ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma_j^2} \right\} dx \right] = \\ &= \frac{2}{1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}} \left[ \frac{1}{\sqrt{1-\theta}} \int_{-\infty}^m \frac{x}{\sqrt{2\pi\sigma_1}} \exp \left\{ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma_j^2} \right\} dx + \frac{1}{\sqrt{1+\theta}} \int_m^{\infty} \frac{x}{\sqrt{2\pi\sigma_2}} \exp \left\{ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma_j^2} \right\} dx \right] = \\ &= \frac{2}{1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}} \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{1-\theta}} \cdot J_1 + \frac{1}{\sqrt{1+\theta}} \cdot J_2 \right]; \quad J_1 = \int_{-\infty}^m \frac{x}{\sqrt{2\pi\sigma_1}} \exp \left\{ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma_j^2} \right\} dx = \int_{(x-m)/\sigma_1 = u}^0 \frac{u\sigma_1 + m}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du = \\ &= \frac{\sigma_1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 u e^{-u^2/2} du + \frac{m}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 e^{-u^2/2} du = \frac{\sigma_1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 -d \left( e^{-u^2/2} \right) + \frac{m}{2} = \frac{\sigma_1}{\sqrt{2\pi}} \left( -e^{-u^2/2} \Big|_{-\infty}^0 \right) + \frac{m}{2} = -\frac{\sigma_1}{\sqrt{2\pi}} + \frac{m}{2}; \\ J_2 &= \int_m^{\infty} \frac{x}{\sqrt{2\pi\sigma_2}} \exp \left\{ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma_j^2} \right\} dx = \int_{(x-m)/\sigma_2 = u}^0 \frac{u\sigma_2 + m}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du = \frac{\sigma_2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} u e^{-u^2/2} du + \frac{m}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} e^{-u^2/2} du = \end{aligned}$$

лінійної задачі оптимізації описані в [5]. З них найбільш ефективно використовує технологію вирішення завдань з дрібно - квадратичною цільовою функцією і лінійними обмеженнями по типу транспортних. Разом з тим, слід зазначити, що отримувані при вирішенні цього завдання результати не можна вважати абсолютно бездоганними, так як в умовах малої вибірки вихідних даних прийнята гіпотеза про нормальність закону розподілу випадкових вартостей транспортувань не може бути прийнята або відхилена з необхідним рівнем довіри. З метою поліпшення якості використовуваної моделі в розглянутих задачах транспортної логістики доцільно враховувати характерну особливість спостережуваних при цьому випадкових величин - щільність їх розподілу, як правило, має негативну асиметрію. Для опису таких розподілів використовуємо співвідношення [8]

$$f(x) = \frac{A}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left\{ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2} (1 + \theta \operatorname{sign}(x-m)) \right\}, \quad (14)$$

яке зручно представити у вигляді

$$f(x) = \begin{cases} \frac{A}{\sqrt{2\pi\sigma_1}} \exp \left\{ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2} \right\}, & x \leq m, \quad \sigma_1 = \frac{\sigma}{\sqrt{1-\theta}}, \\ \frac{A}{\sqrt{2\pi\sigma_2}} \exp \left\{ -\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2} \right\}, & x > m, \quad \sigma_2 = \frac{\sigma}{\sqrt{1+\theta}}. \end{cases}$$

В [8] введені такі визначення:  $m$  - параметр, що визначає математичне сподівання,  $\sigma^2$  - параметр, що визначає дисперсію  $x$ ,  $\theta$  - параметр, що визначає асиметрію  $x$ ,  $A$  - нормуючий коефіцієнт,

$$A = 2 / (1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}).$$

Відзначимо, що наведені найменування для  $m$  та  $\sigma^2$  не цілком точні, так як істинні значення математичного сподівання і дисперсії випадкової величини з розподілом (14) залежать від  $\theta$  і можуть суттєво відрізнитися від  $m$  та  $\sigma^2$ . Проілюструємо це:

$$= \frac{\sigma_2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty -d\left(e^{-u^2/2}\right) + \frac{m}{2} = \frac{\sigma_2}{\sqrt{2\pi}} \left(-e^{-u^2/2}\right)_0^\infty + \frac{m}{2} = \frac{\sigma_2}{\sqrt{2\pi}} + \frac{m}{2}; M[x] = \frac{2}{1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}} \times$$

$$\times \left[ -\frac{1}{\sqrt{1-\theta}} \cdot \frac{\sigma_1}{\sqrt{2\pi}} + \frac{m}{2\sqrt{1-\theta}} + \frac{1}{\sqrt{1+\theta}} \cdot \frac{\sigma_2}{\sqrt{2\pi}} + \frac{m}{2\sqrt{1+\theta}} \right] = \left[ -\frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}(1-\theta)} + \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}(1+\theta)} + \frac{m}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1-\theta}} + \frac{1}{\sqrt{1+\theta}} \right) \right] \times$$

$$\times \frac{2}{1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}} = m - \frac{2}{1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}} \cdot \frac{20\sigma}{\sqrt{2\pi}(1-\theta^2)} = m - \frac{40\sigma}{\sqrt{2\pi}(1-\theta^2)(1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta})}. \quad (15)$$

Отриманий досить складний вираз для  $M[x]$  ускладнює розрахунок точного значення дисперсії  $x$ . Тому обмежимося визначенням середнього значення квадрата відхилення випадкової величини  $x$  від  $m$ :

$$M[(x-m)^2] = \frac{2}{1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}} \cdot \left[ \int_{-\infty}^m \frac{(x-m)^2}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}\right\} dx + \int_m^\infty \frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}\right\} dx \right] = \frac{2}{1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}} \times$$

$$\times \left[ \frac{1}{\sqrt{1-\theta}} \int_{-\infty}^m \frac{(x-m)^2 \sqrt{1-\theta}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}\right\} dx + \frac{1}{\sqrt{1+\theta}} \int_m^\infty \frac{(x-m)^2 \sqrt{1-\theta}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}\right\} dx \right] = \frac{2}{1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}} \times$$

$$\times \left[ \frac{1}{\sqrt{1-\theta}} \int_{-\infty}^m \frac{(x-m)^2}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}\right\} dx + \frac{1}{\sqrt{1+\theta}} \int_m^\infty \frac{(x-m)^2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}\right\} dx \right] = \frac{2}{1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}} \cdot \left[ \frac{1}{\sqrt{1-\theta}} I_1 + \frac{1}{\sqrt{1+\theta}} I_2 \right];$$

$$I_1 = \int_{-\infty}^m \frac{(x-m)^2}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}\right\} dx \stackrel{(x-m)/\sigma_1=u}{=} \int_{-\infty}^0 \frac{u^2 \sigma_1^2}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du = \frac{\sigma_1^2}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^0 u \left( u e^{-u^2/2} du \right) = \frac{\sigma_1^2}{\sqrt{2\pi}} \left( -u e^{-u^2/2} \Big|_{-\infty}^0 + \int_{-\infty}^0 e^{-u^2/2} du \right) = \frac{\sigma_1^2}{2\sqrt{2\pi}};$$

$$I_2 = \int_m^\infty \frac{(x-m)^2}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}\right\} dx \stackrel{(x-m)/\sigma_2=u}{=} \int_0^\infty \frac{u^2 \sigma_2^2}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du = \frac{\sigma_2^2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\infty u \left( u e^{-u^2/2} du \right) = \frac{\sigma_2^2}{\sqrt{2\pi}} \left( -u e^{-u^2/2} \Big|_0^\infty + \int_0^\infty e^{-u^2/2} du \right) = \frac{\sigma_2^2}{2\sqrt{2\pi}};$$

$$M[(x-m)^2] = \frac{2}{1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta}} \cdot \left[ \frac{\sigma_1^2}{2\sqrt{2\pi}\sqrt{1-\theta}} + \frac{\sigma_2^2}{2\sqrt{2\pi}\sqrt{1+\theta}} \right] = \frac{\sigma^2}{\sqrt{2\pi}} \left( \frac{1}{1-\theta} + \frac{1}{1+\theta} - \frac{1}{\sqrt{1-\theta^2}} \right) = \frac{\sigma^2}{\sqrt{2\pi}} \left( \frac{2}{1-\theta^2} - \frac{1}{\sqrt{1-\theta^2}} \right). \quad (16)$$

Значення статистичних характеристик випадкової величини  $x$ , обчислювані відповідно до (15), (16) помітно відрізняються від  $m$  та  $\sigma^2$ . Тому перейменуємо їх наступним менш зобов'язуючим чином:  $m$  - параметр, що характеризує положення розподілу  $\phi(x)$ , він визначає модальне значення  $x$ ;  $\sigma^2$  - параметр, що характеризує форму розподілу

$\phi(x)$ , він визначає варіацію щодо модального значення. Відзначимо, що оцінки значень параметрів  $m$ ,  $\sigma_1^2$ ,  $\sigma_2^2$ , необхідні для опису розподілу (14), легко отримати методом максимальної правдоподібності. Використовуємо тепер співвідношення (14) для розрахунку критерію ефективності транспортувань (17):

$$P(L(x) \geq d_{\Pi}) = \int_{d_{\Pi}}^\infty f(L(x)) dx = \int_{d_{\Pi}}^\infty \frac{2}{(1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta})\sqrt{2\pi}\sigma_\Sigma} \exp\left\{-\frac{(L(x)-m_\Sigma)^2}{2\sigma_\Sigma^2} (1+\theta \text{sign}(t(x)-m_\Sigma))\right\} dx(x) =$$

$$= \frac{2}{(1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta})\sqrt{1+\theta}} \int_{d_{\Pi}}^\infty \frac{\sqrt{1+\theta}}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_\Sigma} \exp\left\{-\frac{(L(x)-m_\Sigma)^2}{2 \cdot \frac{\sigma_\Sigma^2}{1+\theta}}\right\} dL(x) \stackrel{(x-m_\Sigma)\sqrt{1+\theta}/\sigma_\Sigma=u}{=} \frac{2}{(1/\sqrt{1-\theta} + 1/\sqrt{1+\theta})\sqrt{1+\theta}} \cdot \int_{(d_{\Pi}-m_\Sigma)\sqrt{1+\theta}/\sigma_\Sigma}^\infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du; \quad s_{ij} = d_{\Pi}/A - m_{ij}; \quad (17)$$

$$F(x) = \frac{(d_{\Pi} - m_\Sigma)\sqrt{1+\theta}}{\sigma_\Sigma} = \sqrt{1+\theta} \cdot \left( d_{\Pi} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n m_{ij} x_{ij} \right) / \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^2} = \sqrt{1+\theta} \cdot \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n s_{ij}^2 x_{ij}^2}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^2}.$$

Мінімізація (17) еквівалентна максимізації що, еквівалентно максимізації (13). Це означає, що оптимальний план перевезень для випадку коли випадкові вартості розподілені відповідно до асиметричної щільності (14) буде збігатися з планом, отриманим для нормального розподілу. У зв'язку з цим принципову важливість здобуває питання про те, чи залежить план транспортувань від закону розподілу

вартості транспортувань за умови, що основні статистичні характеристики цих випадкових величин ( $m$  та  $\sigma^2$ ) фіксовані. Для відповіді на це питання попередньо знайдемо «найгіршу» щільність розподілу, для якої ймовірність перевищення допустимого порогу буде максимальною, і потім оптимальний план для цієї ситуації. При цьому виникає наступна задача: знайти щільність розподілу випадкової ве-

личини з заданими значеннями  $m$  та  $\sigma^2$ , для якої ймовірність попадання в заданий інтервал буде максимальною. Це завдання континуального лінійного програмування [9]. Введемо для стислості змінну  $V = 2(x)$ . Формальна постановка відповідної оптимізаційної задачі має вигляд:

знайти щільність розподілу  $g(v)$  випадкової величини  $V$ , що задовольняє умовам

$$\int_{-\infty}^{\infty} g(v) dv = n, \tag{18}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} vg(v) dx = m, \tag{19}$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} (x-m)^2 g(v) dv = \sigma^2, \tag{20}$$

для якої ймовірність потрапляння до інтервалу  $[d_{\Pi}, \infty)$ , дорівнює

$$p(v \geq d_{\Pi}) = \int_{d_{\Pi}}^{\infty} g(v) dv, \tag{21}$$

буде максимальною. В [9] показано, що рішення слід шукати в класі лінійних комбінацій дельта - функцій Дірака, тобто воно має вигляд

$$g(v) = \sum_{i=1}^m Z_i \delta(v - v_i).$$

Розроблена і обґрунтована оптимізаційна процедура, описана в [9], стосовно до задачі (18) - (21) приводить до такого результату:

$$g(v) = \frac{(d_{\Pi} - m)^2}{\sigma^2 + (d_{\Pi} - m)^2} \delta\left(v - \frac{m^2 + \sigma^2 m d_{\Pi}}{m - d_{\Pi}}\right) + \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + (d_{\Pi} - m)^2} \delta(v - d_{\Pi}). \tag{22}$$

Отримана щільність розподілу (22) є «найгіршою» в тому сенсі, що ймовірність попадання випадкової сумарної вартості транспортувань  $L(x)$  в неприпустимий інтервал  $[d_{\Pi}, \infty)$  буде найбільшою в порівнянні з відповідними можливостями для будь-яких інших щільностей розподілу з фіксованими значеннями  $m$  та  $\sigma^2$ . При цьому вірогідність попадання в цей інтервал дорівнює коефіцієнту при другому доданку в співвідношенні (22).

Проведемо порівняння значень ймовірностей потрапляння в неприпустимий інтервал для трьох розподілів випадкових величин з заданими значеннями математичного сподівання і дисперсії. Розрахунок проведемо за такими формулами:

– для Гаусового розподілу

$$P_G(L(x) \geq d_{\Pi}) = \int_{d_{\Pi}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right\} dx;$$

– для асиметричного розподілу

$$P_a(L(x) \geq d_{\Pi}) = \frac{2}{\frac{1}{\sqrt{1-\theta}} + \frac{1}{\sqrt{1+\theta}}} \int_{d_{\Pi}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}(1+\theta)\text{sign}(x-m)\right\} dx;$$

– «найгіршого» розподілу

$$P_H(L(x) \geq d_{\Pi}) = \frac{\sigma^2}{\sigma^2 + (d_{\Pi} - m)^2}. \tag{23}$$

Нехай:

$$m = 10, \sigma = 3;$$

$$d_{\Pi} = 12; 14; 16; 18,$$

$$\theta = -0,1; -0,3; -0,5; -0,8; -0,9.$$

Результати розрахунків зведемо в табл. 1.

Таблиця 1 – Значень ймовірностей влучення в інтервал  $[d_{\Pi}, \infty)$  для різних розподілів випадкових величин

$d_{\Pi}$	Гаусів розподіл	Асиметричний розподіл					«Найгірший» розподіл
		$\theta = -0,1$	$\theta = -0,3$	$\theta = -0,5$	$\theta = -0,8$	$\theta = -0,9$	
12	0,26	0,28	0,32	0,35	0,42	0,44	0,69
14	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,15	0,36
16	0,025	0,027	0,03	0,034	0,04	0,045	0,21
18	0,005	0,005	0,006	0,007	0,008	0,10	0,123

Порівняння цих результатів дозволяє зробити наступні висновки.

1. Гаусів розподіл дає найбільш оптимістичний прогноз для ймовірності потрапляння в неприпустимий інтервал.

2. Асиметричне розподілення краще прогнозує небезпеку неприпустимою ситуації.

3. «Найгірше» розподіл дає песимістичний прогноз, для якого ймовірність небезпеки в рази

перевищує відповідну ймовірність для нормального розподілу.

Відповідно до цього, на перший погляд, видається очевидною необхідність відшукування оптимального плану транспортувань в найгірших умовах, тобто рішення мінімаксної задачі. Разом з тим, вище вже зверталась увага на те, що аналітичний опис критеріїв оптимізації для гаусова та асиметричного розподілів (формули (13) і (17)) з точністю до конс-

танти збігаються. Розглянемо тепер аналітичний вираз для критерію оптимальності в разі найгіршого розподілу. Так як

$$\frac{\sigma^2}{\sigma^2 + (d_{\Pi} - m)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_m - m}{\sigma}\right)^2},$$

то мінімізація (23) еквівалентно максимізації  $(d_{\Pi} - m)/\sigma$ , що знову збігається з (13) та (17).

Звідси випливає: оптимальний план перевезень визначається тільки основними статистичними характеристиками вартостей транспортувань і не залежить від законів розподілу цих випадкових величин.

Найбільш актуальні напрямки подальших досліджень пов'язані з розглядом поставленої в роботі задачі в умовах, коли вихідні дані визначені нечітко [10-13] або неточно [14]. Можливі підходи до вирішення виникаючих при цьому задач запропоновані в [15,16].

## Висновки

1. Розглянуто методи вирішення транспортних задач з випадковою вартістю транспортувань в умовах малої вибірки спостережень. Досліджена ситуація, коли вихідного статистичного матеріалу досить тільки для оцінки математичних сподівань і дисперсій випадкових значень вартості.

2. Показано, що задача може бути зведена до оптимізації дрібно - квадратичної цільової функції з лінійними обмеженнями.

3. Отримані аналітичні описи задачі для різних типів законів розподілу випадкової вартості транспортувань. Показано, що у всіх випадках задача оптимізації транспортувань зводиться до однієї і тієї ж формальної моделі.

4. При цьому результат рішення задачі (оптимальний план перевезень) залежить тільки від значень основних статистичних характеристик (математичне сподівання і дисперсія), випадкових величин вартості транспортувань, але не від їх законів розподілу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Данциг Дж.Б. Линейное программирование, его применения и обобщения. – М., 1966. – 600с
2. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Задачи линейного программирования транспортного типа. М.: Сов. радио, 1969. 382 с.
3. Миротин Л.Б., Ташбаев Ы.Э. Логистика для предпринимателя. – М.: ИНФРА, 2002. – 252 с
4. Раскин Л.Г. Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления. – М., 1976. – 344с
5. Серая О.В. Многомерные модели логистики в условиях неопределенности. –Х.: ВОП Стеценко, -512 с
6. Джонсон Дж. Логистика: пер. с англ./ Дж. Джонсон, Д.Вуд, Д. Вордлоу, П. Мэрфи. – М.: «Вильямс». – 2004. – 624с
7. Иванов В.В. Методы вычислений на ЭВМ. – К.: Наукова думка, 1983. – 583с
8. Серая О.В. Комбинированная процедура оценивания параметров многофакторного уравнения регрессии для малой выборки /О.В. Серая, Л.Г. Раскин, В.В. Карпенко – Х.: Вестник НТУ «ХПИ», 2003. -№18. – С. 75 – 78
9. Раскин Л. Г., Кириченко И. О. Континуальное линейное программирование. – Х.: ВИБВ, 2005. – 175 с
10. Zadeh L. Fuzzy Sets, Information and Control, 1965, vol. 8. p. 338-353
11. Раскин Л.Г. Нечеткая математика: моногр. / Л.Г. Раскин, О.В. Серая. – Х.: Парус, 2008. – 352с
12. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике: Пер. с франц.-М.: Радио и связь, 1990. – 286с
13. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 486с
14. Pawlak Z. Rough sets, International Journal of Information and Computer Sciences, vol.11, No.5, 341-356, 1982.
15. Lev Raskin, Oksana Sira. Method of solving fuzzy problems of mathematical programming//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 5, Issue 4. – P. 23–28. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.81292
16. Lev Raskin, Oksana Sira. Fuzzy models of rough mathematics//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 6, Issue 4. – P. 53–60. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.86739

Received (Надійшла) 16.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.04.2021

### Supply management in terms of small sample random output data

Lev Raskin, Oksana Sira, Yuri Parfenyuk

**Abstract.** Considered problem of finding the optimal product transportation plan in "supplier - consumer" system in a situation where the cost of transportation - random variables. The model of the problem is formulated. Offered criterion optimality of the plan - probability that the total random cost of transportations will exceed the set admissible threshold. In the conditions of a small initial data sample correct restoration of distribution density of casual transportations cost is impossible. Therefore, variants of the analytical representation of the criterion for different distribution laws of the random value of transportation are considered: Gaussian, asymmetric and "worst". The parameters of the "worst" distribution law are found by the method of continuous linear programming. To solve the problem, an iterative procedure is proposed, at each step of which the quadratic programming problem is solved. The acceleration method of computational procedure based on optimization of fractional - nonlinear function with linear constraints is substantiated. It is shown that the optimal transportation plan is determined only by the values of mathematical expectation and variance of transportation costs, but does not depend on the distribution law of these random variables.

**Keywords:** Transport problem of linear programming, random values of transportation costs, fractional - nonlinear optimization.



D. Tersiantsev, R. Tsurulis, A. Dmytrenko, T. Derkach

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

## COMPARATIVE ANALYSIS OF INFOTAINMENT SYSTEMS

**Abstract.** The issues of relevance of work in information and entertainment systems, on the pages of which a lot of diverse and fascinating content is concentrated, are considered. The existing information and entertainment systems that are in demand in the market are analyzed and all the key characteristics of the resources, their features and disadvantages are identified. The possibilities of registering and working with content in the systems Reddit, Pikabu, JoyReactor, 9GAG, Fishki.net are investigated. Special attention is paid to determining the rating of publications and comments. The analysis of functional features of information and entertainment systems is carried out. The type of content for infotainment system development – the UGC (user-generated content) (videos, photos, GIFs, memes, blog posts, and audio) created and distributed by users on the Internet is defined. The viewing modes of existing systems are analyzed. The forms of activity necessary for the development of a new infotainment system are formulated.

**Keywords:** UGC, rating, infotainment portal, user profile, content.

### Introduction

A human is designed in such a way that he urgently needs rest and relaxation. It is not always possible to allocate time and money to organize a high-quality leisure time. Infotainment systems that are in high demand among users come to the rescue. Their pages contain a lot of diverse and exciting content [1].

People on such sites view event feeds, respond to attractive messages, read, recognize, are surprised and laugh. The process of staying on such resources is addictive. Watching interesting videos, pictures, reading original texts on the most unexpected topics – all this happens for the sake of spending your free time and from banal boredom. It is natural for people to seek light entertainment for themselves, if possible.

Infotainment sites are designed to enrich people's minds and fill them with new facts. At the same time, they are able to raise the mood, captivate and dispel melancholy. With their help, it is easy to overcome the tedious wait, spend time with pleasure and some benefit [1].

Entertainment portals can be supplemented with news feeds, catalogs, etc. That is, everything that can be of interest to a modern person with healthy ambitions is concentrated in one place. The content of such sites is aimed at engaging the reader. They describe only the brightest events of show business, the world of fashion, art and offer to study the latest achievements. Within the framework of entertainment sites, you can always read a horoscope, find a new dish or leisure time that can arouse interest.

The pages of such portals contain everything that can charge a person with positive emotions and change their mood for the better.

There are no problems with Internet Access today, so nothing prevents a person from plunging into the world of interesting, informative and fun news. Infotainment portals can safely be called effective "pills" for boredom [1]. Usually, such sites are filled with information using UGC (user-generated content) – this is any type of content (videos, photos, GIFs, memes, blog posts, and audio) created and distributed by users on the Internet [2-4].

### The main material

The article analyzes infotainment systems that are in demand in the market, identifies all the key characteristics of resources, their features and disadvantages.

**Reddit** is one of the most popular communication platforms in the world, which is widely used in America, and is not so popular in Ukraine. The portal is divided into «subreddits» (thematic sections), where users start topics (threads) and discuss news, events and share their own experience there.

People can vote for or against comments by increasing or decreasing their rating – the rating of the comments themselves and their authors depends on this [6].

Reddit is both a news aggregator, an entertainment site, and also a social network or discussion forum divided into thematic sections – subreddits. Reddit users independently add content to the platform that other Redditors can comment on and support or replace.

Each user of the site can create a subreddit on any topic, as long as they follow the rules of Reddit. Subreddits are managed by volunteer moderators who can change the community interface, dictate what content can be posted, and even delete posts and ban users. Reddit is generally managed by administrators-employees of the company who have broad rights on the site, including the ability to remove moderators, take away their rights, and even delete the community on the service [7].

Each individual subreddit has its own rules, and they are most often unique and specific to that subreddit.

For example, you can send your infographic to /r/dataisbeautiful, one of the most popular subreddits with over 13 million subscribers. However, the rules clearly state: «no to infographics or other non-automated charts» [8].

If there is a need to participate in this or another community, then you need to study the rules of the subreddit. Failure to follow the rules will result in a quick ban, and there are no exceptions.

Reddit was originally written in the Common Lisp programming language, but was rewritten in Python

back in 2005 for greater flexibility and access to numerous libraries [9].

About the design of the Reddit site, we can say that it is light and clear, does not have text overload. The navigation bar is located in the left corner, which includes feeds, interesting subreddits and profiles of other users, and in the right corner – current tops of subreddits by various categories (Fig. 1). You can view Reddit in three modes: «classic», similar to the old site feed, «card», which resembles the design of Facebook, and «compact», where the blocks are located more tightly to each other.

Reddit uses a logarithmic combination of positive and negative votes to determine the popularity of con-

tent both in subreddits and on the site's home page [7]. Here's a simple explanation: the first 10 votes have the same impact as the next 100 votes, and these 100 votes have the same impact as the next 1000 votes, and so on.

All posts are divided into thematic categories. Among them are "Science", "Games", "Music", "Videos", "News", "Food", "Books" and many others. In total, the site has more than 11,000 subreddits that unite fans of various topics [5].

When you first meet Reddit, it can scare you away with the amount of "information overload" (Fig. 2), as well as the almost complete absence of content in the native language.

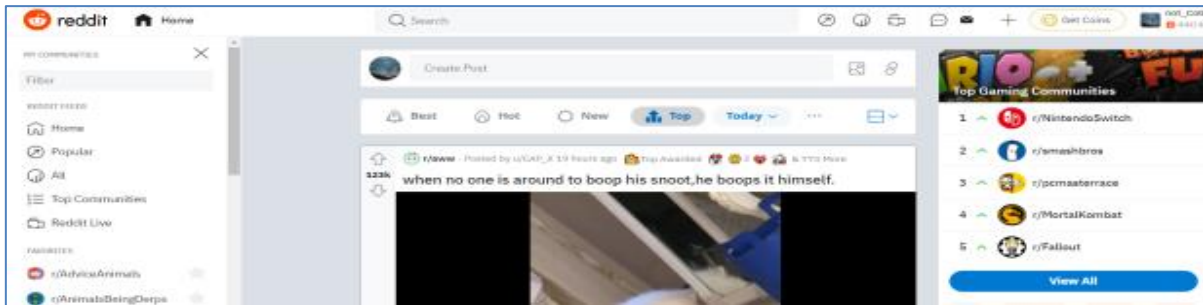


Fig. 1. Infotainment system «Reddit»

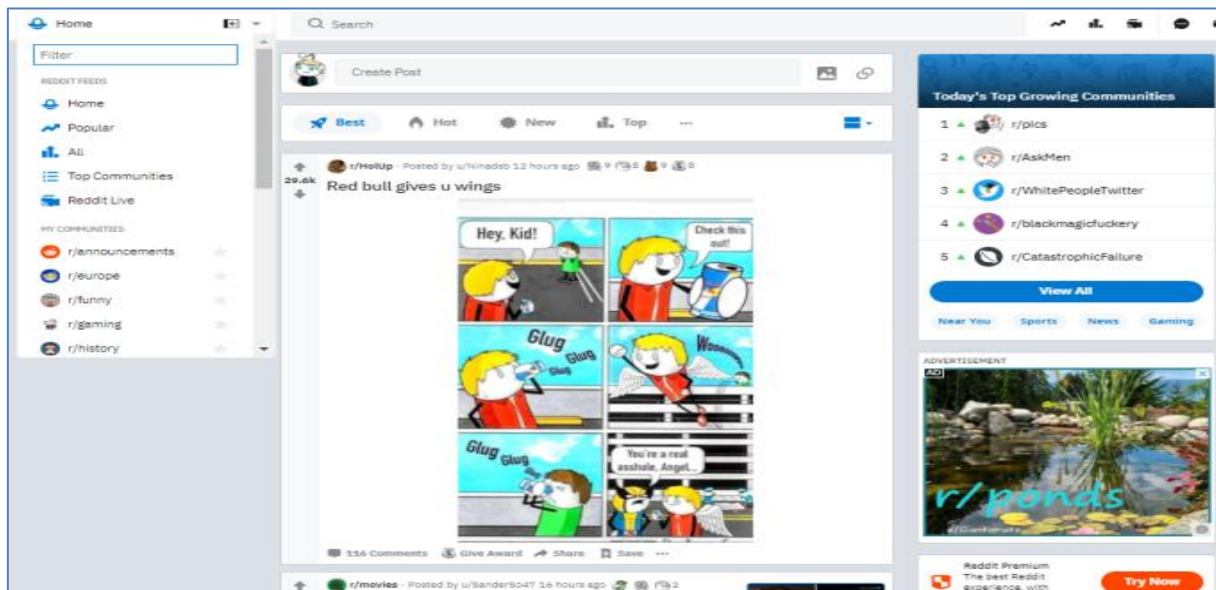


Fig. 2. Reddit homepage

**Features of this resource:**

- easy division of content into thematic sections-subreddits (subreddits);
- ability to quickly track any news;
- easy registration – by email (you need to enter a username, password, and confirm your email), or by using a Google or Apple account;
- the main page of the site displays only those posts on topics that you subscribe to;
- there are convenient filters that allow you to view news by popularity, release date, and so on;
- the ability to communicate with other people on topics of interest by commenting on posts, or in a personal chat;

- a wide range of settings (you can set up traffic savings);
- a simple rating system, the so-called «Karma»;
- there is a personal paid system of rewards that can be given to the author of an interesting publication or an accurate comment, and thus raise karma for yourself and the author;
- a simple process for creating your own subreddit, but there are two requirements – the account must be at least 30 days old and have 500 + karma;
- a convenient and wide space for advertisers and brands;
- the well-known Ask Me Anything section where users questions are answered by world famous people;

– two-factor authentication to protect user accounts.

#### Disadvantages:

- too many rules (even each subreddit has its own rules that are placed in the side menu, for violation of which a ban is issued);
- to disable ads, you must purchase a paid Reddit Premium subscription.

In March 2019, the audience of «Pikabu», accord-

ing to SimilarWeb, was 32.5 million unique visitors, and in 2018, more than 426 thousand new users registered on the site. The site ranks 502nd in the world in terms of popularity [10]. When you get to the main page of Pikabu, you can say that its appearance is quite pleasant (Fig. 3). All elements of the site meet modern design standards and are quite intuitive. After the redesign, Pikabu lost its resemblance to Reddit. Pikabu switched to full display of publications [11].

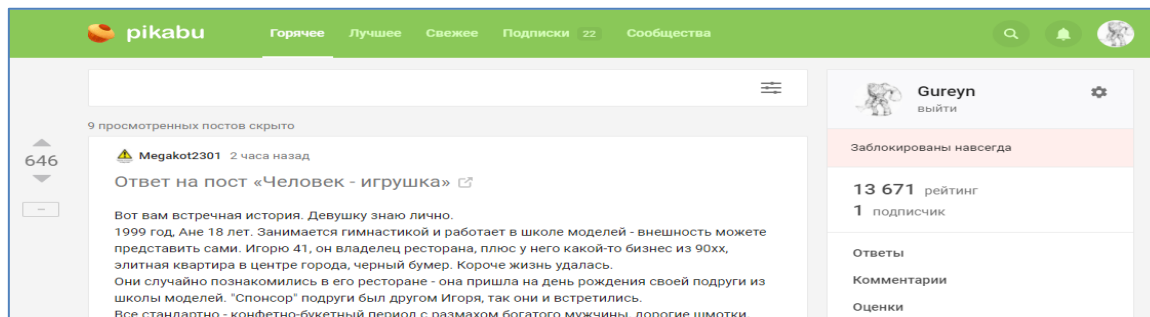


Fig. 3. Pikabu Interface

On Pikabu, the rating is quite significant compared to Reddit, as various restrictions for the user depend on it. It is formed depending on all ratings of comments and added posts (the rating of a comment changes the rating of user to +/- 0.5, and the rating of the post to +/- 1). Let's take a closer look:

- -200 account automatically blocked;
- -25 You can't add comments;
- 0 rating after registration;
- +10 you can attach an image to a comment;
- +150 you can add a video;
- +1000 you can add a link and edit a post (with a rating below 1000, you can't edit a post after it is published, or attach a link to it);
- +10 000 you can combine tags. Accordingly, an "elite" that has scored 10 000 or more ratings has the ability to combine tags (adjust them for convenience);
- 20 000 people with the highest rating can view the resource completely without ads.

The main problem of Pikabu for several years now is the misunderstanding of the resource administration with users. The unwillingness of site owners to listen to those community members who gave their time and effort to the resource, forming a community that attracted new users, led to the fact that boycotts were announced to the resource and "riots" were organized on the site.

**JoyReactor** is another popular infotainment site in Runet, with a rating system, after Pikabu and is its main competitor.

When you get to the site, the user is met with a rather peculiar, bright design (Fig. 4), which is generally harmonious, distinguishes the site favorably from others and has everything you need for comfortable use.

Publications on the resource are marked only with tags. The tag system on JoyReactor is so large-scale and developed that it builds both site sections and communities based on interests, without having to implement them separately. Which section or community the publication will end up in is decided by the user when they put tags when publishing their post. There are no strict

restrictions on specifying tags, each user can come up with any tag that matches the content of the publication. Matching tags and content is strictly monitored and can be punished if, for example, you publish content in the wrong section or community.

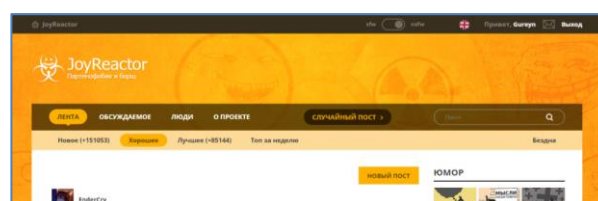


Fig. 4. JoyReactor design

Resource sections can even be considered as a separate resource, as they have their own domain, their own sections, and may have their own design.

The rating of posts and comments is credited to the user's account. It is different for the main page and for sections with communities. The rating for comments is 10 times less than for publications. The rating obtained in sections and communities gives only a variety of awards "medals" in the user profile. Advantages are given by the rating that is obtained for publications only with tags of the main page and its subsections, that is, for funny pictures and other jokes with comics.

If you get a sufficient number of ratings on the main page, the user gets a star in their profile, and privileges on the resource depend on the number of stars.

Among the shortcomings of JoyReactor, you can distinguish a large bunch of small bugs, and all sorts of flaws that the administration as a whole does not pay attention to. With long-term use of the site, its obsolescence in technical implementation becomes noticeable in the details.

Also, on the site, a request to users to support the resource financially borders on outright begging. So if you go to a site with the adblocker enabled, the site will not just ask you to turn it off, but will tell you that it will be engaged in mining until you disable the blocker, and

will also show obscene ads. Although the resource deserves to be monetized through advertising, the methods for implementing it are somewhat radical. In the middle of the site is a small banner that asks you to donate to the servers and shows how much has already been donated in the current month. Without a new audience, the community does not develop and stagnates, and in the end this leads to a decrease in traffic, which is con-

firmed by data from Amazon's Alexa service. On the graph (Fig. 5) you can see how the situation worsened after the introduction of the activation system in 2017.

**9GAG** is one of the most popular sources of short-form entertainment on the Internet, whose service team is based in Hong Kong, with a variety of memes, GIFs, and other viral content posted daily, using user-generated content that is shared by the entire community.



Fig. 5. Alexa traffic statistics for JoyReactor

Over the past five years, 9GAG's popularity has grown rapidly: between its website and mobile app, 9GAG now attracts more than 150 million unique visitors per month [12]. The site receives most of its traffic from the United States and Germany. According to the analytical service SimilarWeb, these two countries account for more than 17% of site traffic. The "top five" also includes France, Great Britain and Brazil [13].

The design of this resource is a bit like Reddit, made in black and white style.

**Among the advantages are:**

- simple and appropriate design for this category of sites, with no text overload;
- the ability to sort posts by popularity, rating, novelty, or category;
- no complicated registration with a Facebook and Google account, or a mailbox with its subsequent confirmation;
- there are basic necessary account settings, with the ability to download your avatar or choose from randomly suggested ones;
- the ability to communicate by commenting on posts, or in an existing collective chat on the topics present;
- convenient creation of posts where photos or videos are uploaded via a link, or directly from the device, and it is also possible to make memes directly on the site using the presented tools;
- loyal rating system for posts and comments (one user can add or subtract one rating point);
- the ability to quickly switch to the next and previous posts using the arrow keys on the keyboard.

**Disadvantages:**

- the built-in video player is not convenient (it does not have the ability to rewind or pause the video and adjust the volume level);

- you can't create both a personal and collective chat.

**Fishki.net** one of the most popular entertainment portals in the media market, which is filled with news by users themselves. This resource is read by Ukrainians, Latvians, Kazakhs and Israelis [14].

Today, according to Similarweb, the site Fishki.net gets 45 million visits per month. On some days, two million unique visitors come to the chips. Up to a thousand posts are moderated per day.

Fishki.net are interesting not only for lovers of pure humor, but also for connoisseurs of more serious materials, including historical, automotive, discussion of relations between the people, cooking recipes, problems of Medicine and education, everything that craftsmen do with their own hands, as well as issues of culture and art [15].

This site is available in two languages – Russian and English, and the design in English is slightly simplified, namely, it does not have Popular Posts, Top Companies for different periods (for a day, Sunday, month, and for the entire period) and popular tags in the right corner of the feed. The design itself, although simple, is not clear enough at first glance, for example, on the main page, where current news is located, there is a feeling of text overload, which can't be said about other pages, where all posts go one after another to the bottom.

On the site Fishki.net the rating system (karma) provides some restrictions, you can get it if other registered users rate the posts you created (+/- 1 karma) or comments (+/- 0.5 karma).

**Advantages:**

- easy registration, where you need to come up with a username, nickname, password, enter an email address and confirm her;
- convenient division of content into appropriate sections and the ability to sort it;

- available necessary settings for profile, privacy, news feed, and comments;
- the profile has a function for saving the history of viewing posts, namely all posts that were rated, commented on, or saved;
- the ability to quickly search for content by tags;
- easily to create your own post (there is a preview before publishing);
- the ability to create or subscribe to partnerships;
- a registered user will be able to rate the publication only after viewing it, otherwise an error message will appear;
- there are interesting entertainment tests on various topics (created only by administrators).

**Disadvantages:**

- at first glance, an inconvenient website design for beginners;
- there are a lot of distracting ads.

**Conclusions**

Based on a comparative analysis of existing analogs of infotainment systems (Reddit, 9GAG, Fishki.net etc.) their advantages and disadvantages were identified.

Based on the above, it is possible to determine the need to develop a new infotainment system that will take into account the shortcomings of existing systems. Such a system will use the following forms of activity:

- informing;
- providing an electronic library of information resources;
- providing links to carefully selected sites;
- personal account;
- portfolio (both private and whole team);
- discussions, forums, communication in project groups in social networks;
- master classes;
- contests and festivals;
- opportunity to get bonuses and certificates.

## REFERENCES

1. Who needs entertainment portals and why they are created. business-gazeta.ru : веб-сайт. URL: <https://www.business-gazeta.ru/article/359830>.
2. Що таке UGC?. bazilik.media : веб-сайт. URL: <https://bazilik.media/shcho-take-ugc/> (дата звернення: 18.02.2021).
3. Що таке Reddit?. nachasi.com: веб-сайт. URL: <https://nachasi.com/2020/02/21/reddit-kyiv/>.
4. Why Reddit is one of the best places on the internet. lifehacker: веб-сайт. URL: <https://lifehacker.ru.turbopages.org/lifehacker.ru/s/reddit/>
5. How Reddit works. secretmag.ru: веб-сайт. URL: <https://secretmag.ru/trends/whatsup/sait-reddit-ocenili-v-usd1-8-mlrd-pochemu-on-takoi-dorogoi.htm>.
6. Що таке Reddit: Як і навіщо користуватися соціальним новинним сайтом. root-nation.com: веб-сайт. URL: <https://root-nation.com/ua/articles-ua/ua-what-is-reddit/>
7. Особливості Reddit. Як знайти себе серед мільйона спільнот?. imena.ua: веб-сайт. URL: <https://www.imena.ua/blog/what-is-reddit/>.
8. Everything You Wanted to Know About Reddit: A Comprehensive Guide. freelance.today: веб-сайт. URL: <https://freelance.today/poleznoe/vse-cto-vy-hoteli-znat-o-reddit-podrobnoe-rukovodstvo.html>.
9. The programming languages used by Google, Reddit and other giants. dev.by: веб-сайт. URL: <https://dev.by/news/yazyki-programmirovaniya-kotorye-ispolzuuyut-google-reddit-i-drugie-giganty>.
10. <https://pikabu.ru/> [Офіційний сайт].
11. <https://career.habr.com/companies/pikabu> Офіційний сайт.
12. How 9GAG Scaled Fun to 150 Million Users with Cloudflare. cloudflare.com: веб-сайт. URL: <https://www.cloudflare.com/case-studies/9gag-cdn-ddos-protection>.
13. How the 9GAG business works: mobile games, a humorous website and its own messenger. vc.ru : веб-сайт. URL: <https://vc.ru/flood/9757-9gag>.
14. Fishki.net: «We anticipate the desires of the audience». sostav.ru: веб-сайт. URL: <https://www.sostav.ru/publication/fishki-20936.html>.
15. О проекте. fishki.net : веб-сайт. URL: <https://fishki.net/about/>.

Received (Надійшла) 29.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.05.2021

**Порівняльний аналіз інформаційно-розважальних систем**

Д. Терсянцев, Р. Ціруліс, А. О. Дмитренко, Т. М. Деркач

**Анотація.** Розглянуто питання актуальності роботи в інформаційно-розважальних системах, на сторінках яких зосереджено безліч різноманітного та захоплюючого контенту. Проаналізовані існуючі інформаційно-розважальні системи, які користуються попитом на ринку та визначено всі ключові характеристики ресурсів, їх особливості та недоліки. Досліджено можливості реєстрації та роботи з контентом системах Reddit, Pikabu, JoyReactor, 9GAG, Fishki.net. Особлива увага приділена визначенню рейтингу публікацій і коментарів. Проведено аналіз функціональних особливостей інформаційно-розважальних систем. Визначено тип контенту для розробки інформаційно-розважальної системи UGC (user-generated content) (відео, фото, GIF-файли, мему, дописи в блогах та аудіо), створений та розповсюджений користувачами в Інтернеті. Проаналізовані режими перегляду існуючих систем. Сформульовано форми діяльності, необхідні при розробці нової інформаційно-розважальної системи.

**Ключові слова:** UGC, рейтинг, розважальний портал, профіль користувача, контент.



О. А. Дакі, Н. С. Урум, В. М. Федунов, О. В. Бажак

Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна

## ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ В ПРИБЕРЕЖНІЙ АКВАТОРІЇ

**Анотація.** В статті наведено моделі пошуково-рятувальних операцій в прибережній акваторії, формалізації знань та завдань пошуку для їх подальшої реалізації у системах підтримки прийняття рішення. Систематизовано проблеми, здійснена класифікація методів пошуково-рятувальних дій, що дозволило виділити часткові та загальні підходи рішення пошукових задач у різних умовах з метою формалізації моделей пошуково-рятувальних дій і процесів у складі інформаційно-аналітичних моделей систем підтримки прийняття рішення. Обґрунтовано доцільність та розроблені технології множинного аналізу формування навігаційної обстановки, районів й умов пошуково-рятувальних операцій у прибережній зоні, як універсального математичного апарату планування пошукових дій. Розробка інформаційних та автоматизованих систем суден дозволяє підвищити ефективність пошуково-рятувальних операцій. Це відкриває нові підходи до завдань суднобудування, контролю, управління за переміщенням суден та ідентифікації їх діяльності. На теперішній час рівень розвитку науки та техніки характеризується підвищеними можливостями при створенні та застосуванні спеціалізованих інформаційних систем – системах підтримки прийняття рішень, які дозволяють зменшити цикл прийняття рішень в пошуково-рятувальних операціях.

**Ключові слова:** нечіткі множини, система підтримки прийняття рішення, пошуково-рятувальні операції, теоретико-множинне представлення, формалізація знань.

### Постановка проблеми

Дослідження в галузі судноплавства та проведенні пошуково-рятувальних операцій свідчать, що забезпечення успішного пошуку об'єктів на морі є пріоритетом в будь-якій рятувальній операції. Використання сучасних технологій управління пошуком зменшує найважливіший фактор в пошуково-рятувальних операціях – час. Розробка інформаційних та автоматизованих систем суден дозволяє підвищити ефективність пошуково-рятувальних операцій. Це відкриває нові підходи до завдань суднобудування, контролю, управління за переміщенням суден та ідентифікації їх діяльності. На теперішній час рівень розвитку науки та техніки характеризується підвищеними можливостями при створенні та застосуванні спеціалізованих інформаційних систем – систем підтримки прийняття рішень (СППР), які дозволяють зменшити цикл прийняття рішень у пошуково-рятувальних операціях.

СППР можуть бути як простими за своїми функціями, реалізуючи функції збору інформації та представлення її оператору у формалізованому вигляді, так і складними, забезпечуючи людині, яка приймає рішення (ЛПР), інформаційно-аналітичні моделі та багатоваріантне рішення, що змінюється зі зміною умов проведення пошуково-рятувальної операції. Методи підтримки прийняття рішень поряд з інформаційно-аналітичними моделями, є основою для створення спеціалізованої СППР.

Зазначимо, що розробка та застосування даного типу систем не має на меті відсторонити людину від прийняття рішення. Однак у складних умовах ця система в цілому скоротить час пошукових операцій, що значно підвищить ймовірність успішного пошуку. Аналіз функціональності існуючих та перспективних СППР для виконання пошуково-рятувальних операцій свідчить про те, що їх потенціал

не повністю використовується для рішення пошукових задач на морі та вимагає розробки (удосконалення) інформаційно-аналітичних моделей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробка сучасних СППР базується на роботах вчених, які зробили вагомий внесок у розвиток теорії прийняття рішень та розробку методів вирішення прикладних завдань: С.І. Біденко [1, 2], Н.П. Бусленко, М.А. Волосков [3], А.А. Грищенко [4], С.П. Годованюк [5, 6], В.В. Подіновський, Є.В. Попов, В.М. Вагін, Д.А. Поспелов [7]. Роботи А.С. Васькова, М.М. Груздева [8], В.І. Дмитрієва, В.А. Катеніна [9], В.А. Логіновського, В.А. Михальського, С.Н. Некрасова, В.Г. Пешехонова, А.І. Родіонова, А.Е. Сазонова, А.Б. Філімонова [10] присвячені дослідженням процесів навігації, їх автоматизації, побудови систем управління та навігації.

Окремо необхідно виділити спеціалізовані міжнародні нормативні джерела щодо проведення пошуково-рятувальних операцій в прибережній акваторії [11-13] та національні нормативні акти [14].

**Формулювання мети статті.** Удосконалення інформаційно-аналітичних моделей пошуково-рятувальних операцій в прибережній акваторії за рахунок впровадження моделей знань.

### Виклад основного матеріалу

Основним елементом пошуково-рятувальної операції на морі є організація пошуку. Процес пошуку в значній мірі залежить від властивостей об'єкта виявлення, серед яких важливо виділити дві характерні риси:

1) його відмінність від середовища, в якому здійснюється пошук;

2) інформація про місце розташування до початку пошуку та у процесі пошуку, як правило, носить невизначений характер.

Саме цією невизначеністю обумовлені пошуково-рятувальні дії. Крім того, процес пошуку в значній мірі залежить і від властивостей об'єкта, який виконує пошуково-рятувальні дії, і від особливостей навколишнього середовища, навігаційної та гідрометеорологічної обстановки. Ці обставини вимагають логіко-математичної формалізації обстановки та формування елементів й апарата СППР проведення пошуково-рятувальних операцій на морі. Для формалізації процесів пошуково-рятувальних дій представимо класифікацію видів пошуку, що умовно наведена на рис. 1.

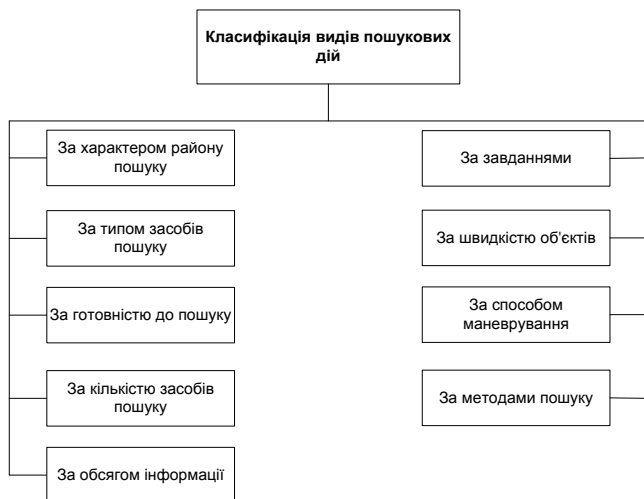


Рис. 1. Класифікація видів пошукових дій

Наведена класифікація також може бути вихідною основою формування алгоритмів функціонування СППР у ході проведення пошуково-рятувальних дій. Для більш докладної деталізації вона може бути доповнена характеристиками спостерігача, а так само об'єкта пошуку (наприклад, за наявністю випромінювання об'єкта пошуку).

У процесі пошуку застосування засобів виявлення поєднується з активним маневром носія цих засобів. Тому особливого значення набувають ін-

формаційно-аналітичні моделі взаємного переміщення спостерігача й об'єкта пошуку.

Вибір методу пошуку виконується після всебічного аналізу умов як району пошуку (РП), так і районів, через які рухаються пошукові одиниці. У дослідженні [4] при формуванні програми маршруту судна пропонуються райони плавання представляти множинами. Застосування такого апарата доцільне при пошукових операціях. Методи операцій над множинами можуть служити вихідним математичним апаратом для алгоритмів СППР при виконанні пошуково-рятувальних дій на морі. Для розвитку такого підходу найважливішим завданням класифікації районів пошуку в СППР є встановлення зв'язків між різними множинами, що відносяться до РП, об'єкту пошуку, пошукових сил, умов пошуку. Таку модель типів районів пошуку можна представити у вигляді схеми взаємодії множин (рис. 2).

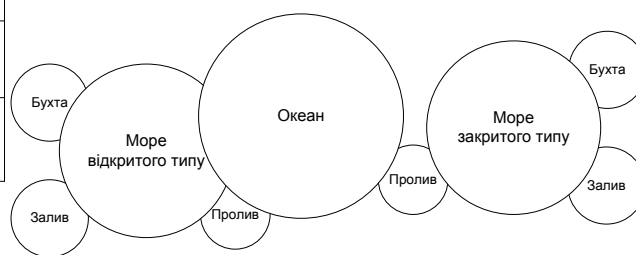


Рис. 2. Скупність множин районів пошуково-рятувальних дій

Таким чином, можна скласти повну, деталізовану класифікацію всіх можливих типів РП, відповідно до гідрографічних, навігаційних та інших класифікацій [3, 4], безпосередньо при формуванні смуги пошуку та вибору траєкторій пошуку. Зокрема, характеристика особливостей району пошуку та ступеня їх впливу на пошукові дії наведені в табл. 1.

У відповідності з темою статті, подальше викладення матеріалу буде стосуватися другого та третього типу району з табл. 1.

Таблиця 1 – Вплив району пошуку на вибір методу його організації

Тип району	Особливості району	Ступінь впливу на проведення пошуково-рятувальних дій	Основні способи пошуку
Відкритий простір (більше 200 миль від берега)	- віддаленість району пошуку від місць зосередження пошукових сил; - сильний вплив гідрометеорологічних умов на об'єкт пошуку, на пошукові сили.	- збільшення часу запізнення початку пошукової операції; - небезпечні та особливо небезпечні гідрометеорологічні явища затруднюють проведення пошуково-рятувальних дій.	Пошук в районі
Прибережний район (менше 200 миль від берега)	- присутність пошукових сил; - можливість отримання оперативної інформації від берегових систем спостереження	- зменшення часу запізнення початку пошукової операції; - необхідність комплексування джерел інформації.	Пошук в районі Пошук на рубежі
Бухти, заливи	- досить часто наявність контакту з об'єктом пошуку	- перехід від пошуку до рятування	Пошук на рубежі

Деталізація характерних умов пошуку в кожному районі доцільно для формалізації представити у виді встановлених шляхів, обмежень регульованих та спеціальних районів, часу доби, видимості.

Структурна схема основних типових груп умов ведення пошуково-рятувальних дій в районі пошуку наведена на рис. 3.

Пошуково-рятувальні операції можуть виконуватися в одному районі пошуку, так і в деяких (як по черзі, так і одночасно).

Взаємозв'язок між районами пошуку для СППР пропонується представити у вигляді операції над множинами, які разом утворюють їх логічно-математичні моделі.





Рис. 3. Структурна схема основних типових груп умов ведення пошуково-рятувальних дій в районі пошуку

Аналіз операцій над множинами в цих моделях дозволяє сформулювати універсальне представлення РП у вигляді ієрархії окремих елементів множин. При використанні індексних змінних варіанти цих моделей записуються так:

$$\begin{aligned}
 &PP_k = PP_i; PP_k \in PP_i \cap PP_j; PP_k \in PP_i \cup PP_j; \\
 &PP_k \in PP_i \setminus PP_j; PP_i \supset PP_j,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де  $PP_k, PP_i, PP_j$  – область типів районів пошуку та їх поточні комбінації.

Тоді поточний район пошуку представляється у вигляді різних комбінацій декількох типових РП, визначених формулою (1). Відповідно, на наступному рівні ієрархії за формулою (1) утворюються нові багаторівневі моделі в  $PP_k$  для даного пошуку в автоматизованій СППР.

Умови ведення пошуково-рятувальних дій та більш детальні елементи маршруту пошукових сил також можуть бути представлені як логічні операції над кількома районами та умовами плавання, подібно до формул (2)-(4). Тоді поточні пошукові умови

будуть визначатися логічними співвідношеннями простих множин різних районів та груп пошукових умов для їх комбінацій й взаємодії:

$$UP_k = UP_i; UP_k \in UP_i \cap UP_j;
 \tag{2}$$

$$UP_k \in UP_i \cup UP_j;$$

$$UP_k \in UP_i \setminus UP_j; UP_k \supset UP_j;
 \tag{3}$$

$$UP_{tk} \in PP_k \cap UP_{tk}; UP_m \in PP_k \cup UP_{tk},
 \tag{4}$$

де  $UP_k, UP_i, UP_j$  – умови плавання та їх комбінації відповідно;  $UP_m, UP_{tk}$  – поточні умови пошуку з урахуванням особливостей РП;  $i, j, t, n$  – індекси умови пошуку.

На основі аналізу вищевказаних схем класифікації та узагальнення досліджень в даній області [1, 2, 4, 5], пропонується представити пошуковий простір навколо пошукової групи у вигляді пошукових зон (ПЗ). Формалізовані ознаки пошукових зон пошукової одиниці (ПО) пропонується представити елементами, наведеними в табл. 2.

Таблиця 2 – Типи пошукових зон

Номер пошукової зони	Скорочення	Назва пошукової зони
1	ПО	Пошукова одиниця
2	ВПО	Зона візуального пошуку пошукової одиниці
3	ВБП	Зона візуального пошуку берегового поста
4	ОПО	Зона пошуку оптичними засобами пошукової одиниці
5	ОБП	Зона пошуку оптичними засобами берегового поста
6	РЛПО	Зона пошуку радіолокаційними засобами пошукової одиниці
7	РЛБП	Зона пошуку радіолокаційними засобами берегового поста
	ППО	Пошукова зона пошукової одиниці
9	ПБП	Пошукова зона берегового поста
10	ЗПЗ	Загальна пошукова зона

Взаємодії різних областей ПЗ показує, що їх функціональні зв'язки можна представити також на основі теорії множин, подібно до (2)-(4).

На теперішній час основним методом підтримки прийняття рішень при здійсненні діяльності лю-

дини в морі, є створення СППР. Ці системи можуть бути автоматичними, автоматизованими та неавтоматизованими. Можуть бути реалізовані в повному циклі прийняття рішення, так і на визначених етапах.

Для повноцінного функціонування СППР при проведенні пошуково-рятувальних дій у вищевказаних умовах повинна мати відповідну інструментальну, математичну, алгоритмічну і програмну підтримку.

Як показує практика, для рішення завдань, пов'язаних з експлуатацією суден на морі (у тому числі пошуково-рятувальних завдань), бажано створювати спеціалізовані СППР у зв'язку з їх стійкістю та сформованістю бази знань за даним питанням. Вплив гідрометеорологічних факторів на проведен-

ня пошуково-рятувальних операцій свідчить, що їх проведення обов'язково буде проводитися з елементами пошуку рухомих об'єктів. Рух буде забезпечуватися впливом вітру, течій, хитавиці.

На підставі досліджених джерел [1, 4, 8] можна виділити загальні принципи забезпечення пошуку рухомих об'єктів. Це дозволяє сформувати для бази знань СППР елементи семантичної мережі основних професійних понять, дій та умови проведення пошуку. На рис. 4 наведено варіант вибору дій за ситуацією.

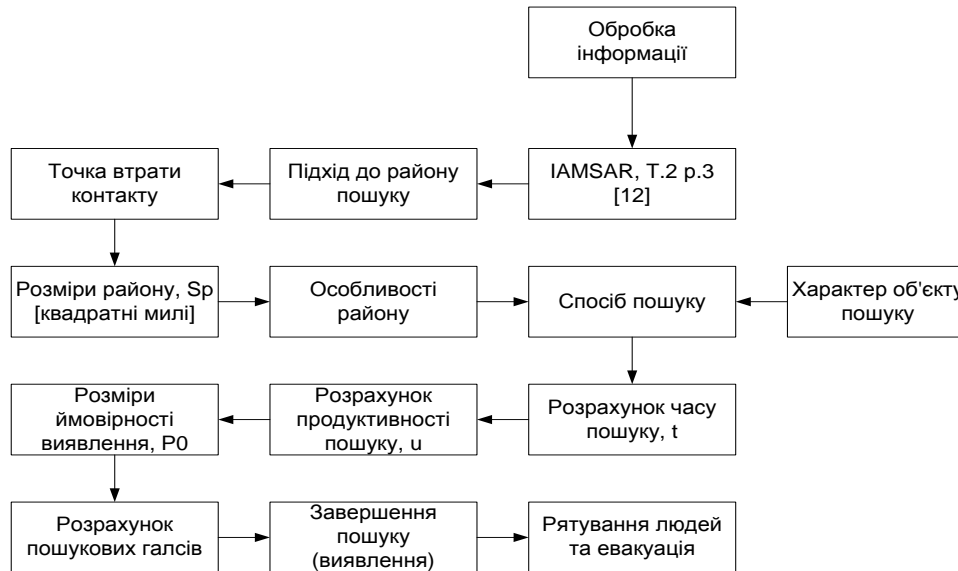


Рис. 4. Варіант дій за ситуацією для формалізації у вигляді інформаційно-аналітичної моделі СППР

Для забезпечення ефективного пошуку по семантичній мережі (Рк) необхідно деталізувати механізми логічного виведення по ребрах зв'язків між основними діями. Відповідно до досліджень [4, 7], у загальному випадку зміст семантичної мережі можна представити множиною найпростіших ситуацій (Прс), множиною дій по переходу між Прс, множиною об'єктів, змінних та констант у вигляді кортежу множин:

$$P_k = \langle S, A, D \rangle,$$

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_z\}, A = \{a_1, a_2, \dots, a_y\}, \quad (4)$$

$$D = \{d_{o1}, \dots, d_{on}, d_{p1}, \dots, d_{pm}, d_{k1}, \dots, d_{kw}\},$$

де  $S, A$  – множина Прс та дій по переходу між Прс;

$D$  – множина об'єктів предметної області;

$s_1, s_2, \dots, s_z$  – типові Прс;

$a_1, a_2, \dots, a_y$  – дії по переходу з однієї Прс до іншої;

$d_{o1}, \dots, d_{on}, d_{p1}, \dots, d_{pm}, d_{k1}, \dots, d_{kw}$  – об'єкти, змінні та константи множин відповідно.

Основні множини Прс, дій, об'єктів, змінних, констант можна деталізувати та представити пошукову ситуацію у такому вигляді:

$s_1 =$  "підхід до району пошуку";

$s_2 =$  "контроль місцезнаходження";

$s_3 =$  "вибір способу пошуку";

(6)

$s_4 =$  "розрахунок галсів";

$s_5 =$  "підход до об'єкту пошуку"

$a_1 =$  "спрямувати";  $a_2 =$  "вимога"

$a_3 =$  "рекомендація";

$a_4 =$  "пропозиція";

$a_5 =$  "змінити курс"

$d_{o1} =$  "пошукова одиниця";

$d_{k1} =$  "пошукова морехідність";

$d_{p3} =$  "курс";  $d_{p4} =$  "швидкість";

$d_{p5} =$  "швидкість течії";

$d_{p6} =$  "напрямок течії";

$d_{p7} =$  "видимість";  $d_{p8} =$  "напрямок вітру";

$d_{p9} =$  "сила вітру";

(7)

$d_{p10} =$  "радіолокаційна спрямованість";

$d_{k11} =$  "найменування району пошуку";

$d_{k12} =$  "номер квадрату району пошуку";

$d_{o13} =$  "береговий пост";

$d_{p14} =$  "відхилення від пошукового галсу";

$d_{p15} =$  "зустрічна";  $d_{p16} =$  "збільшити";

$d_{p17} =$  "зменшити";  $d_{p18} =$  "праворуч";

$d_{p19} =$  "ліворуч"

Семантична мережа і її логічні елементи (5)-(7) будуть доповнюватися з урахуванням ієрархії узагальнення різних найпростіших ситуацій, особливостей і характерних ознак для інших районів пошуку. Окремими елементами семантичної мережі можуть використовуватися нечіткі множини, зокрема, для реалізації методів визначення границь району пошуково-рятувальних дій та напрямків пошуку.

### Висновки

1. Систематизовано проблеми, здійснена класифікація методів пошуково-рятувальних дій, що дозволило виділити часткові та загальні підходи рішення пошукових задач у різних умовах з метою формалізації моделей пошуково-рятувальних дій і

процесів у складі інформаційно-аналітичних моделей систем підтримки прийняття рішення.

2. Обґрунтовано доцільність та розроблені технології множинного аналізу формування навігаційної обстановки, районів й умов пошуково-рятувальних операцій у прибережній зоні, як універсального математичного апарату планування пошукових дій.

3. Удосконалено способи представлення знань та принципи побудови СППР для пошуково-рятувальних операцій на морі. Ці принципи пропонується реалізувати у вигляді математичного забезпечення із застосуванням семантичних мереж, фреймових моделей, нечітких множин, ситуаційного обчислення та мови логіки предикатів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Биденко С.И. Геоинформационная поддержка управления судном: структурно-технологический аспект / С.И.Биденко, Е.Л.Бородин // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – №3. – С.78–85.
2. Биденко С.И. Цель функционирования организационно-технической системы корабля / С.И.Биденко, Д.С.Ралль // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2013. – №2. – С.164–166.
3. Волосков М.А. Модель принятия решения на поиск объекта в условиях неопределенности, основанная на нечеткой параметризации исходных данных / М.А. Волосков, А.Н. Прокаев // Моделирование систем и процессов. – 2009. – №3. – С.21–27.
4. Грищенко А.А. Структура алгоритма системы поддержки принятия решений при поиске подвижных объектов на море / Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2013. – №2(3). – С. 25–26.
5. Годованюк С. П. Формирование облика единой системы поиска и спасания / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2016. – № 2 (15). – С.10 – 19.
6. Годованюк С. П. Концептуальная модель формирования облика управляемой единой системой поиска и спасания на море / С. П. Годованюк, С. Е. Селиванов // Вісник інженерної академії України. – 2017. – № 4. – С. 84 – 88.
7. Вагин В.Н. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / Под ред. В.Н.Вагина, Д.А.Поспелова. – М.: Физматгиз, 2004. – 704 с.
8. Груздев Н.М. Средства и методы решения навигационных задач кораблевождения (Навигационная безопасность плавания) / Н.М. Груздев. – СПб.: ВСОК ВМФ, 2002. – 357 с.
9. Дмитриев В.И. Навигация и лоция / В.И. Дмитриев, В.Л. Григорян, В.А. Катенин; под ред. В.И.Дмитриева. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 471с.
10. Филимонов А.Б. Планирование операций в задачах пространственного поиска объектов / А.Б. Филимонов, Н.Б. Филимонов, В. Ю. Тихонов // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2017. – №2 (187). – 185–197.
11. Международная конвенция по поиску и спасанию на море 1979 года с поправками САР-79. (Текст на русском и английском языках). – СПб.: ЦНИИМФ, 2005. – 555 с.
12. Руководство по международному авиационному и морскому поиску и спасанию. ИМО. – Лондон: Т. I. – 150 с. Т. II. 2013. – 522 с.
13. Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года СОЛАС (текст, измененный Протоколом 1988 года к ней, с поправками). Текст на русском и английском языках. – СПб.: ЦНИИМФ, 2010. – 992 с.
14. Про відновлення єдиної системи пошуку та рятування на морі: постанова Кабінету Міністрів України від 24 лютого 2016 № 158. – К., 2016.

Received (Надійшла) 11.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.05.2021

### Information and analytical models of search and rescue operations in the coastal water area

O. Daki, N. Urum, V. Fedunov, O. Bajak

**Abstract.** The article presents models of search and rescue operations in the coastal waters, formalization of knowledge and search tasks for their further implementation in decision support systems. Problems are systematized, classification of search and rescue methods is carried out, which allowed to allocate partial and general approaches to solving search problems in different conditions in order to formalize models of search and rescue actions and processes as part of information-analytical models of decision support systems. The expediency and technologies of multiple analysis of the formation of the navigation situation, areas and conditions of search and rescue operations in the coastal zone as a universal mathematical apparatus for planning search operations are substantiated. Development of information and automated ship systems allows to increase the efficiency of search and rescue operations. This opens up new approaches to the tasks of shipbuilding, control, management of ship movement and identification of their activities. At present the level of development of science and technology is characterized by increased capabilities in the creation and application of specialized information systems - decision support systems that reduce the decision cycle in search and rescue operations.

**Keywords:** fuzzy sets, decision support system, search and rescue operations, set-theoretic representation, formalization of knowledge.

Г. В. Іванець<sup>1</sup>, М. Г. Іванець<sup>2</sup>, І. О. Толкунов<sup>1</sup>, І. І. Попов<sup>1</sup><sup>1</sup> Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна<sup>2</sup> Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

## ФОРМАЛІЗОВАНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СУМІСНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГОТОВНОСТІ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

**Анотація. Актуальність.** На теперішній час попередження надзвичайних ситуацій слід розглядати як складний сумісний процес прогнозування надзвичайних ситуацій та завчасного реагування на загрози їх виникнення або пом'якшення можливих наслідків. **Мета.** Розробка формалізованої математичної моделі сумісного прогнозування надзвичайних ситуацій та забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації. **Метод.** Формалізована математична модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації – це система аналітичних залежностей, які в сукупності дозволяють вирішити поставлену проблему дослідження. Вона реалізує принцип системного підходу до вирішення проблеми попередження надзвичайних ситуацій з метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків. Попередження надзвичайних ситуацій – це складний системний процес, пов'язаний з аналізом загроз виникнення надзвичайних ситуацій, їх прогнозуванням та забезпеченням готовності реагування підрозділів цивільного захисту. **Результати.** Розроблено формалізовану математичну модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації і керуючий алгоритм, який реалізує розроблену математичну модель. Формалізована математична модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації уявляє собою об'єднання двох взаємозв'язаних моделей: моделі прогнозування надзвичайних ситуацій та можливих завдань збитків внаслідок них і моделі забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації. **Висновки.** Формалізована математична модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на надзвичайні ситуації включає математичні моделі прогнозування надзвичайних ситуацій за характером, видами, рівнями та можливих наслідків внаслідок них як в державі в цілому, так і її регіонах; математичні моделі оцінки потенціальної технічної спроможності та готовності підрозділів до виконання завдань за призначенням, оптимального розподілу ресурсів для забезпечення готовності підрозділів, оптимізації територіальних структур цивільного захисту, прогнозу витрат коштів, технічного та людського забезпечення для ліквідації надзвичайних ситуацій. Отримані результати дослідження є фундаментом для обґрунтування організаційно-технічних заходів щодо адекватного реагування на надзвичайні ситуації різного характеру в реальних умовах.

**Ключові слова:** формалізована математична модель, керуючий алгоритм, надзвичайна ситуація, збитки від надзвичайних ситуацій, рівень готовності.

### Номенклатура

НС – надзвичайна ситуація;

ЦЗ – цивільний захист;

ДСНС – Державна служба України з надзвичайних ситуацій;

$n_{НС}(t)$  – кількість НС в державі;

$n_{НС}^i(t)$  – кількість НС в  $i$ -му регіоні;

$P_{НС}^i$  – ймовірність виникнення НС в  $i$ -му регіоні в разі виникнення НС в державі;

$n_{ТХ}(t)$ ,  $n_{ПХ}(t)$ ,  $n_{СХ}(t)$  – кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру;

$P_{ТХ}$ ,  $P_{ПХ}$ ,  $P_{СХ}$  – ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі;

$l_i(t)$ ,  $v_i(t)$ ,  $r_i(t)$  – кількість НС за видами відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі;

$P_{ТХ_i}$ ,  $P_{ПХ_i}$ ,  $P_{СХ_i}$  – ймовірності виникнення НС техногенного, природного та соціального характеру  $i$ -го виду в державі;

$n_{ТХ}^i(t)$ ,  $n_{ПХ}^i(t)$ ,  $n_{СХ}^i(t)$  – кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в  $i$ -му регіоні;

$P_{ТХ}^i$ ,  $P_{ПХ}^i$ ,  $P_{СХ}^i$  – ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в  $i$ -му регіоні в разі виникнення НС в державі;

$n_{DP}(t)$ ,  $n_{PP}(t)$ ,  $n_{MP}(t)$ ,  $n_{OP}(t)$  – кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів;

$P_{DP}$ ,  $P_{PP}$ ,  $P_{MP}$ ,  $P_{OP}$  – ймовірності виникнення НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в державі;

$n_{DP}^i(t)$ ,  $n_{PP}^i(t)$ ,  $n_{MP}^i(t)$ ,  $n_{OP}^i(t)$  – кількість НС державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в  $i$ -му регіоні в разі виникнення НС в державі;

$P_{DP}^i$ ,  $P_{PP}^i$ ,  $P_{MP}^i$ ,  $P_{OP}^i$  – ймовірності виникнення НС державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в  $i$ -му регіоні в разі виникнення НС в державі;

$ZB(t)$  – збитки внаслідок НС;

$P_T$  – потенційна технічна спроможність підрозділів ЦЗ до дій при НС;

$K_{TD}$  – коефіцієнта технічної досконалості зразків озброєння і техніки підрозділу ЦЗ;

$K_E$  – узагальнений експлуатаційний коефіцієнт зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ;

$A_i$  – ТТХ озброєнням і техніки;

$K_{УК}$  – коефіцієнт укомплектованості підрозділу ЦЗ озброєнням і технікою;

$K_{ТГ}$  – коефіцієнт технічної готовності підрозділу ЦЗ;

$K_{PEC}$  – коефіцієнт запасу ресурсу зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ;

$P(t)$  – ймовірність готовності підрозділу ЦЗ до виконання завдань за призначенням в даний момент часу;

$R^{н\dot{p}p.}(t)$  – ймовірність працездатності необхідної кількості зразків озброєння і техніки при виникненні НС;  
 $P_{III}(t)$  – ймовірність професійної підготовленості особового складу підрозділу до дій у НС;  
 $C_i(t)$  – наявність ресурсу  $i$ -го виду для ліквідації НС;  
 $S_i^{ДСНС}$  – чисельність сертифікованих структур ЦЗ ДСНС в  $i$ -му регіоні держави;  
 $BT(t)$  – загальні витрати коштів на ліквідацію наслідків НС;  
 $T(t)$  – кількість одиниць техніки для ліквідації НС;  
 $OC(t)$  – кількість задіяного особового складу для ліквідації НС.

### Вступ

Науково-технічний прогрес кожної розвиненої країни сприяє не тільки розвитку сучасного виробництва, покращенню умов праці і добробуту громадян, але й збільшує ризики виникнення надзвичайних ситуацій (НС) [1,2]. Величезне регіональне навантаження територій держав потужними промисловими та енергетичними об'єктами збільшує ризики аварій, а наявність несприятливих природних умов та схильність до проявів небезпечних природних явищ підсилює гостроту проблеми щодо вивчення стану техногенної й природної безпеки та необхідність пошуку шляхів його покращення [3, 4].

На сьогоднішній день вирішення проблеми попередження НС різного характеру в реальних умовах ґрунтується на аналізі, прогнозуванні виникнення НС та забезпеченні готовності підрозділів реагування цивільного захисту (ЦЗ) на можливі загрози з метою їх недопущення або ліквідації можливих наслідків [5,6]. Попередження НС - це складний системний процес, пов'язаний з аналізом загроз виникнення НС, їх прогнозуванням та забезпеченням готовності реагування підрозділів ЦЗ. Однак відомі методи та моделі володіють обмеженими можливостями щодо сумісного прогнозування загроз виникнення НС та готовності реагування на них. Це породжує протиріччя – з одного боку це необхідність розглядати попередження НС як складний системний процес, пов'язаний з сумісним прогнозуванням загроз їх виникнення та завчасним реагуванням на них, а з другого боку – обмежені можливості для цього наявних методів та моделей.

Виходячи з цього, наукова-практична проблема в сфері ЦЗ, а саме розробка формалізованої математичної моделі сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС в реальних умовах, є актуальною.

**Постановка задачі.** Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити формалізовану математичну модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС;
- запропонувати керуючий алгоритм, який реалізує розроблену математичну модель.

**Огляд літератури.** Аналіз літературних джерел показує, що при вирішенні проблеми попередження НС різного характеру в реальних умовах розглядають окремо задачі прогнозування процесів

виникнення НС та забезпечення готовності реагування на них. При цьому прогнозування НС базуються на імовірнісно-статистичному, імовірнісно-детермінованому і детерміново-імовірнісному підходах [7,8,9]. Основний недолік імовірнісного підходу – складність розробки моделей процесів виникнення НС, що значно ускладнює проведення аналізу розвитку даних процесів в динаміці. Для подолання цих незручностей використовують лінійні, нелінійні, ступеневі, порядкові регресії [10]. До переваг даних моделей відносять простоту, гнучкість, а також однозначність їх аналізу і проектування. Недоліками лінійних регресійних моделей є низька адаптивність і відсутність спроможності моделювання нелінійних процесів. Основним недоліком нелінійних регресійних моделей є складність визначення виду функціональної залежності, а також труднощі визначення параметрів моделі.

Авторами роботи [11] запропоновано комбінований метод прогнозування процесу виникнення НС природного характеру, який відрізняється тим, що дозволяє здійснювати комплексний прогноз НС як в цілому, так і за видами з врахуванням тенденцій періодичних змін даного процесу. Однак, періодичність змін процесів виникнення НС характерна тільки для природних НС і не характерна для НС техногенного або соціального характеру.

Ефективність виконання завдань за призначенням підрозділами ЦЗ в першу чергу залежить від рівня їх готовності до дій при НС, який повинен відповідати ступеню та характеру загроз. В [12] рівень готовності підрозділу до виконання завдань за призначенням оцінюється на основі показників з укомплектованості підрозділів особовим складом, технічними засобами, індивідуальними засобами захисту, підготовленості особового складу, наявності матеріально-технічних ресурсів і т.п. В якості показника рівня готовності розглядається середнє значення цих показників, які взяті з відповідними ваговими коефіцієнтами. Запропонований показник рівня готовності підрозділу не в повній мірі відображає готовність підрозділу до виконання поставлених завдань по ліквідації НС в довільний момент часу та ступінь безвідмовності функціонування його, як цілісної системи, на протязі часу виконання робіт.

Моделі готовності рятувальних підрозділів до дій при НС представлені в роботах [13]. При цьому рятувальні підрозділи розглядаються як система, складовими елементами якої є спеціалісти (рятувальники) та необхідна технічна оснастка (експлуатаційний модуль). Запропоновано моделі функціонування експлуатаційного модуля в різних експлуатаційних станах та рятувальників в різних функціональних режимах. У роботі [14] запропоновано системний підхід для оцінки готовності сил та засобів підрозділів ЦЗ до дій при НС. Під час цього враховувались показники ймовірності безвідмовної роботи технічних засобів, а також рівень професійної підготовки та рівень укомплектованості підрозділу особовим складом.

В [15] запропонована методика аналізу показників оперативного реагування підрозділів ЦЗ, яка полягає у оцінці факторів, які характеризують даний

процес із застосуванням методів теорії графів. Автори [16] розглядають моделювання розподілу ресурсів для ліквідації пожеж різного характеру походження. Але при цьому оцінка необхідних людських ресурсів не розглядається.

Комбінований метод мінімізації наслідків НС державного рівня розглянуто в роботі [17]. Він базується на моделюванні стохастичних процесів дискретними ланцюгами Маркова. Однак, в цьому випадку не враховується щільність проживаючого населення на території НС та організаційно-штатна структура підрозділів ЦЗ. В роботі [18] представлено результати оптимізації підрозділів ЦЗ по регіонах України на основі врахування стохастичної природи виникнення та ліквідації НС. Автори зазначають, що при визначенні чисельності підрозділів ЦЗ для ліквідації наслідків НС в регіонах держави необхідно враховувати: інтенсивність реалізації загроз на території регіону; інтенсивність ліквідації наслідків НС; очікувану кількість залучених сил до ліквідації наслідків НС. Однак при цьому не враховуються наслідки від НС для територій з різною щільністю проживаючого населення.

Таким чином, проведений аналіз літературних джерел показує, що проблема попередження НС на теперішній час не розглядається в достатній мірі як складний системний процес, пов'язаний з сумісним прогнозуванням загрози їх виникнення та забезпеченням готовності реагування підрозділів ЦЗ. Це вказує на необхідність розробки формалізованої математичної моделі сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС, яка б дозволяла вирішити дану проблему з системної точки зору.

### Матеріали і методи

Формалізована математична модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС уявляє собою об'єднання двох взаємозв'язаних моделей: моделі прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них як по державі в цілому, так і її регіонів; моделі забезпечення готовності реагування на НС.

Математична модель прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок [20] них уявляє собою систему співвідношень та рівнянь в математичній формі, які відображають найбільш важливі особливості й властивості процесів виникнення та наслідків НС як в державі в цілому, так і її регіонах:

$$\begin{aligned} n_{HC}(t) &= U_1(r_0, r_1, r_2, \dots, t); n_{HC}^i(t) = U_2\{n_{HC}(t), P_{HC}^i\}; \\ n_{TX}(t) &= F_1\{n_{HC}(t), P_{TX}\}; n_{PX}(t) = F_2\{n_{HC}(t), P_{PX}\}; \\ n_{CX}(t) &= F_3\{n_{HC}(t), P_{CX}\}; l_i(t) = \Psi_1\{n_{TX}(t), P_{TX_i}\}; \\ v_i(t) &= \Psi_2\{n_{PX}(t), P_{PX_i}\}; r_i(t) = \Psi_3\{n_{CX}(t), P_{CX_i}\}; \\ n_{TX}^i(t) &= S_1\{n_{TX}(t), P_{TX}^i\}; n_{PX}^i(t) = S_2\{n_{PX}(t), P_{PX}^i\}; \\ n_{CX}^i(t) &= S_3\{n_{CX}(t), P_{CX}^i\}; n_{DP}(t) = Q_1\{n_{HC}(t), P_{DP}\}; \\ n_{PP}(t) &= Q_2\{n_{HC}(t), P_{PP}\}; n_{MP}(t) = Q_3\{n_{HC}(t), P_{MP}\}; \\ n_{OP}(t) &= Q_4\{n_{HC}(t), P_{OP}\}; n_{DP}^i(t) = \Phi_1\{n_{DP}(t), P_{DP}^i\}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} n_{PP}^i(t) &= \Phi_2\{n_{PP}(t), P_{PP}^i\}; n_{MP}^i(t) = \Phi_3\{n_{MP}(t), P_{MP}^i\}; \\ n_{OP}^i(t) &= \Phi_4\{n_{OP}(t), P_{OP}^i\}; \end{aligned}$$

$$ZB(t) = \Theta\{n_{DP}(t), n_{PP}(t), n_{MP}(t), n_{OP}(t)\},$$

де  $n_{HC}(t)$  – кількість НС в державі;  $(r_0, r_1, \dots, r_k)$  – параметри функції;  $n_{HC}^i(t)$  – кількість НС в  $i$ -му регіоні;  $P_{HC}^i$  – ймовірність виникнення НС в  $i$ -му регіоні в разі виникнення НС в державі;  $n_{TX}(t)$ ,  $n_{PX}(t)$ ,  $n_{CX}(t)$  – кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру;  $P_{TX}$ ,  $P_{PX}$ ,  $P_{CX}$  – ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі;  $l_i(t)$ ,  $v_i(t)$ ,  $r_i(t)$  – кількість НС за видами відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі;  $P_{TX_i}$ ,  $P_{PX_i}$ ,  $P_{CX_i}$  – ймовірності виникнення НС техногенного, природного та соціального характеру  $i$ -го виду в державі;  $n_{TX}^i(t)$ ,  $n_{PX}^i(t)$ ,  $n_{CX}^i(t)$  – кількість НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в  $i$ -му регіоні;  $P_{TX}^i$ ,  $P_{PX}^i$ ,  $P_{CX}^i$  – ймовірності виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в  $i$ -му регіоні в разі виникнення НС в державі;  $n_{DP}(t)$ ,  $n_{PP}(t)$ ,  $n_{MP}(t)$ ,  $n_{OP}(t)$  – кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів;  $P_{DP}$ ,  $P_{PP}$ ,  $P_{MP}$ ,  $P_{OP}$  – ймовірності виникнення НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в державі;  $n_{DP}^i(t)$ ,  $n_{PP}^i(t)$ ,  $n_{MP}^i(t)$ ,  $n_{OP}^i(t)$  – кількість НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в  $i$ -му регіоні в разі виникнення НС в державі;  $P_{DP}^i$ ,  $P_{PP}^i$ ,  $P_{MP}^i$ ,  $P_{OP}^i$  – ймовірності виникнення НС відповідно державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів в  $i$ -му регіоні в разі виникнення НС в державі;  $ZB(t)$  – збитки внаслідок НС.

Таким чином, формалізована математична модель процесів виникнення НС та можливих збитків внаслідок них уявляє собою систему аналітичних залежностей, які описують в цілому процес виникнення НС в державі, залежність кількості НС в регіонах від кількості НС в державі, розподіл НС за характером походження в разі виникнення НС в державі, розподіл НС за видами в разі виникнення техногенних, природних та соціальних НС в державі, розподіл НС за характером в регіонах в разі виникнення НС відповідно техногенного, природного та соціального характеру в державі, розподіл НС за рівнями в разі виникнення НС в державі, розподіл НС за рівнями в регіонах в разі виникнення НС відповідного рівня в державі та можливі збитки внаслідок НС. Ці дані є основою для планування та реалізації заходів щодо підтримання готовності підрозділів реагування ЦЗ на НС.

Рівень готовності підрозділів ЦЗ до ефективного виконання завдань щодо реагування та ліквідації наслідків НС різного характеру визначається належною технічною оснасткою, рівнем готовності техніки до застосування і професійною здатністю підрозділів до дій при НС. Потенційна технічна спроможність формувань та підрозділів ЦЗ визначається сукупністю матеріальних факторів, які визначають їх стан та здатність до виконання завдань за призначенням. озброєння та технічна оснащеність складають основу потенційної спроможності формувань та підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням та є визначальним фактором для успішного вирішення задач щодо реагування та ліквідації наслідків НС. Вона залежить від показників технічної досконалості зразків озброєння та техніки даного формування (підрозділу), а також від експлуатаційних показників цих зразків:

$$P_T = F(K_{TD}, K_E), \quad (2)$$

де  $K_{TD}$  – коефіцієнт технічної досконалості зразків озброєння і техніки підрозділу ЦЗ;  $K_E$  – узагальнений експлуатаційний коефіцієнт зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ. Коефіцієнт технічної досконалості характеризує ступінь відповідності основних ТТХ сучасним вимогам щодо технічного оснащення підрозділів ЦЗ:

$$K_{TD} = G(A_i), \quad (3)$$

де  $A_i$  – ТТХ озброєнням і техніки.

Узагальнений експлуатаційний коефіцієнт усіх зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ визначається укомплектованістю, технічною готовністю та запасом ресурсу озброєння та техніки підрозділу:

$$K_E = Q(K_{YK}, K_{TG}, K_{PEC}), \quad (4)$$

де  $K_{YK}$  – коефіцієнт укомплектованості підрозділу ЦЗ озброєнням і технікою;  $K_{TG}$  – коефіцієнт технічної готовності підрозділу ЦЗ;  $K_{PEC}$  – коефіцієнт запасу ресурсу зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ. Ймовірність готовності підрозділу ЦЗ до реагування та ліквідації НС в даний момент часу визначається ймовірністю працездатності необхідної кількості зразків озброєння і техніки на момент виникнення НС, ймовірністю професійної підготовленості особового складу підрозділу до дій у НС та наявності ресурсу і-го виду для ліквідації НС:

$$P(t) = \Lambda \{ R^{nidp}(t), P_{III}(t), C_i(t) \}, \quad (5)$$

де  $P(t)$  – ймовірність готовності підрозділу ЦЗ до виконання завдань за призначенням в даний момент часу;  $R^{nidp}(t)$  – ймовірність працездатності необхідної кількості зразків озброєння і техніки на момент виникнення НС;  $P_{III}(t)$  – ймовірність професійної підготовленості особового складу підрозділу до дій у НС;  $C_i(t)$  – наявність ресурсу і-го виду для ліквідації НС. Чисельність сертифікованих сил ЦЗ ДСНС в і-му регіоні держави повинно відповідати рівню техногенних, природних та соціальних загроз на цій території:

$$S_i^{DCHC} = L \{ n_{TX}^i(t), n_{IIX}^i(t), n_{CX}^i(t) \}, \quad (6)$$

де  $S_i^{DCHC}$  – чисельність сертифікованих структур ЦЗ ДСНС в і-му регіоні держави. Витрати коштів на ліквідацію наслідків НС різного характеру є функцією, яка визначається процесами виникнення техногенних, природних та соціальних НС:

$$BT(t) = \Omega_1 \{ n_{TX}(t), n_{IIX}(t), n_{CX}(t) \}, \quad (7)$$

де  $BT(t_{np})$  – загальні витрати коштів на ліквідацію наслідків НС. Необхідне технічне забезпечення та необхідна кількість задіяного особового складу для ліквідації наслідків НС в даний момент часу визначається кількістю і характером НС:

$$T(t) = \Omega_2 \{ n(t), n_{TX}(t), n_{IIX}(t), n_{CX}(t) \}, \quad (8)$$

$$OC(t) = \Omega_3 \{ n(t), n_{TX}(t), n_{IIX}(t), n_{CX}(t) \}, \quad (9)$$

де  $T(t)$  – кількість одиниць техніки для ліквідації НС;  $OC(t)$  – кількість задіяного особового складу для ліквідації НС.

З урахуванням вище викладеного математична модель визначається системою залежностей (2)–(9):

$$P_T = F(K_{TD}, K_E); K_E = Q(K_{YK}, K_{TG}, K_{PEC});$$

$$P(t) = \Lambda \{ R^{nidp}(t), P_{IIX}(t), C_i(t) \}; K_{TD} = G(A_i);$$

$$S_i^{DCHC} = L \{ n_{TX}^i(t), n_{IIX}^i(t), n_{CX}^i(t) \}; \quad (10)$$

$$BT(t) = \Omega_1 \{ n_{TX}(t), n_{IIX}(t), n_{CX}(t) \};$$

$$T(t) = \Omega_2 \{ n(t), n_{TX}(t), n_{IIX}(t), n_{CX}(t) \};$$

$$OC(t) = \Omega_3 \{ n(t), n_{TX}(t), n_{IIX}(t), n_{CX}(t) \};$$

Таким чином, формалізована математична модель забезпечення готовності реагування на НС уявляє собою систему з 8 аналітичних залежностей. Перша описує потенційну технічну спроможність формувань та підрозділів ЦЗ до виконання завдань за призначенням. Друга характеризує ступінь відповідності основних ТТХ сучасним вимогам щодо технічного оснащення підрозділів ЦЗ. Третя характеризує експлуатаційні можливості зразків озброєння та техніки підрозділу ЦЗ. Четверта визначає ймовірність готовності підрозділу ЦЗ до реагування та ліквідації НС в даний момент часу. П'ята дозволяє оцінити чисельність сертифікованих сил ЦЗ ДСНС в і-му регіоні з врахуванням рівня техногенних, природних та соціальних загроз на цій території. Шоста дозволяють визначити витрати коштів на ліквідацію наслідків НС різного характеру НС. Сьома дозволяє оцінити необхідне технічне забезпечення для ліквідації наслідків НС в даний момент часу. Восьма дозволяє оцінити необхідну кількість задіяного особового складу для ліквідації наслідків НС в даний момент часу.

Формалізована математична модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС уявляє собою об'єднання моделі прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них (1) і моделі забезпечення готовності реагування



на НС (10). Вона реалізує принцип системного підходу до вирішення проблеми попередження НС з метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків.

На основі розробленої формалізованої математичної моделі сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС розроблено керуючий алгоритм її реалізації (рис. 1).

Алгоритм складається з 15 блоків, які розміщені на 5 ієрархічних рівнях.

Перший рівень складають блок збору та обробки статистичної інформації про НС за деякий період моніторингу; блок збору та обробки інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ озброєнням і технікою, технічний стан, тактико-технічні та експлуатаційні характеристики; блок збору інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом та їх рівень професійної підготовки.

На другому рівні розміщені блок аналізу інформації про НС в цілому, за характером, видами, рівнями в державі та її регіонах; блок аналізу інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ озброєнням і технікою, технічний стан, тактико-технічні та експлуатаційні характеристики; блок аналізу інформації про укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом та їх рівень професійної підготовки.

На третьому рівні розміщені блок прогнозування процесів виникнення НС в цілому, за характером, рівнями, видами в державі та її регіонах; блок оцінки потенційної технічної спроможності підрозділів ЦЗ до дій при НС; блок оцінки укомплектованості та професійної підготовленості особового складу підрозділів ЦЗ.

На четвертому рівні розміщені блок прогнозування можливих збитків внаслідок НС; блок оцінки готовності підрозділів ЦЗ щодо реагування та ліквідації наслідків НС, матеріально-технічного, фінансового та людського забезпечення; блок оптимізації територіальних структур ЦЗ з врахуванням стану техногенно-природної небезпеки регіонів.

П'ятий рівень складають блок формування рішення щодо дій підрозділів ЦЗ за призначенням, блок реалізації дій підрозділів ЦЗ за призначенням та блок оцінки ефективності і корегування рішень на основі аналізу дій підрозділів ЦЗ.

Таким чином, керуючий алгоритм реалізує розроблену формалізовану математичну модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС і складається з 15 блоків, які розміщені на 5 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними зв'язками.

### Обговорення

В результаті проведених досліджень розроблена формалізована математична модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС, яка реалізує принцип системного підходу до вирішення проблеми попередження надзвичайних ситуацій з метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків. Попередження надзвичайних ситуацій - це складний системний процес, пов'язаний з аналізом загроз виникнення

НС, їх прогнозуванням та забезпеченням готовності реагування підрозділів цивільного захисту.

Формалізована математична модель включає математичні моделі прогнозування НС за характером, видами, рівнями та можливих наслідків внаслідок них як в державі в цілому, так і її регіонах; математичні моделі оцінки потенційної технічної спроможності та готовності підрозділів до виконання завдань за призначенням, оптимального розподілу ресурсів для забезпечення готовності підрозділів, оптимізації територіальних структур ЦЗ, прогнозу витрат коштів, технічного та людського забезпечення для ліквідації НС.

Подальші дослідження в цьому напрямку повинні бути спрямовані на дослідження впливу різноманітних дестабілізуючих факторів на процеси виникнення та розвитку НС в різних регіонах держави, мобільності сил і засобів ЦЗ з врахуванням наявності їх на територіях сусідніх регіонів держави.

### Висновки

1. Розроблено формалізовану математичну модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС, яка уявляє собою об'єднання моделі прогнозування НС та можливих завданих збитків внаслідок них і моделі забезпечення готовності реагування на НС. Це реалізує принцип системного підходу до вирішення проблеми попередження НС з метою недопущення їх виникнення або мінімізації можливих наслідків.

2. Розроблено керуючий алгоритм, який реалізує формалізовану математичну модель сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС. Його використання передбачає виконання наступних процедур: збір, обробка, аналіз інформації про НС в державі за деякий попередній період моніторингу, про укомплектованість підрозділів ЦЗ озброєнням і технікою, технічний стан, тактико-технічні та експлуатаційні характеристики; про укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом та їх рівень професійної підготовки; аналіз інформації про НС, про укомплектованість підрозділів ЦЗ озброєнням і технікою, технічний стан, тактико-технічні та експлуатаційні характеристики, про укомплектованість підрозділів ЦЗ особовим складом та їх рівень професійної підготовки; прогнозування процесів виникнення НС, оцінки потенційної технічної спроможності підрозділів ЦЗ до дій при НС, оцінки укомплектованості та професійної підготовленості особового складу підрозділів ЦЗ; прогнозування можливих збитків внаслідок НС, оцінки готовності підрозділів ЦЗ щодо реагування та ліквідації наслідків НС, матеріально-технічного, фінансового та людського забезпечення, оптимізації територіальних структур ЦЗ з врахуванням стану техногенно-природної небезпеки регіонів держави; формування рішення щодо дій підрозділів ЦЗ з метою адекватного реагування на НС та ліквідації їх наслідків, оцінки ефективності та корегування рішень на основі аналізу дій підрозділів реагування. Він складається з 15 блоків, які розміщені на 5 ієрархічних рівнях і зв'язані прямими та зворотними логічними зв'язками.

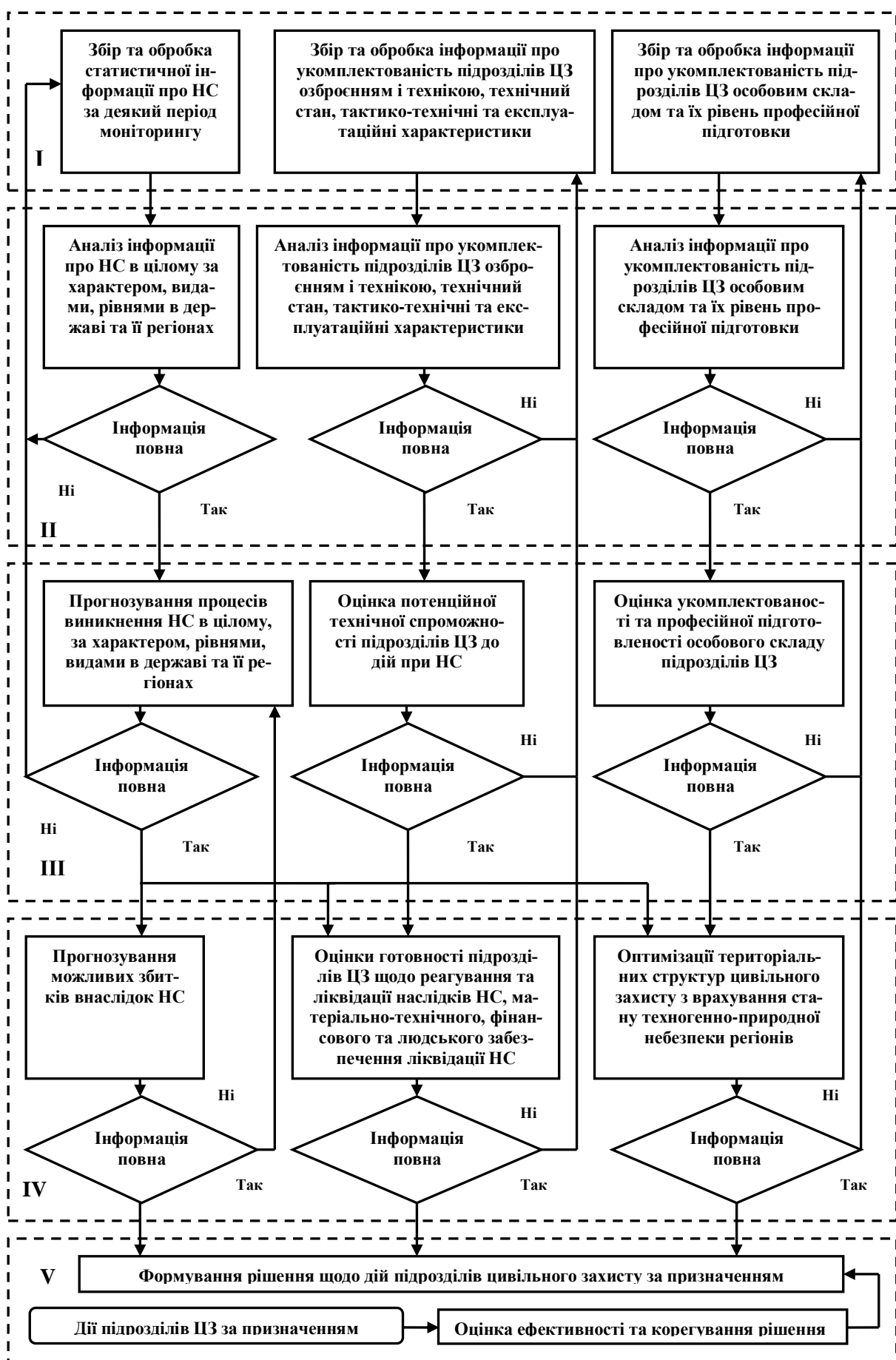


Рис. 1. Керуючий алгоритм реалізації формалізованої математичної моделі сумісного прогнозування та забезпечення готовності реагування на НС

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Rybalova, O., Artemiev, S., Sarapina, M., Tsybmal, B., Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O. (2018). Development of methods for estimating the environmental risk of degradation of the surface water state. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2(10 (92)), 4–17. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.127829>.
2. Bakhareva, A., Shestopalov, O., Filenko, O., Tykhomirova, T., Bryhada, O. (2018). Studying the influence of design and operation mode parameters on efficiency of the systems of biochemical purification of emissions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10(93)), 59–71. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133316>.
3. Guskova, N.D., Neretina, E.A. (2013). Threats of natural character, factors affecting sustainable development of territories and their prevention. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA*, 63(3), 227–237.
4. Dubinin, D., Korytchenko, K., Lisnyak, A., Hrytsyna, I., Trigub, V. (2017). Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(10 (90)), 11–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.114504>.
5. Nivolianitou Z., Synodinou B. A Towards emergency management of natural disasters and critical accidents: The Greek experience // *Journal of Environmental Management*. 2011. Vol. 92, Issue. 10, 2657–2665.
6. Новоселов С.В., Панихидников С.А. Проблемы прогнозирования количества чрезвычайных ситуаций статистическими методами // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017. №10, 60–71.
6. Deng, S.C., Wu, Q., Shi, B. (2014) Prediction of Resource for Responding Waterway Transportation Emergency Based on Case-Based Reasoning // *China Safety Science Journal*, 24, 79–84.
7. Vasiliev M., Movchan I., Koval O. Diminishing of ecological risk via optimization of fire-extinguishing system projects in timber-yards // *Naukovi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2014. Issue 5, 106–113.
8. Mygalenko, K., Nuyanzin, V., Zemlianskiy, A., Dominik, A., Pozdieiev, S. (2018). Development of the technique for restricting the propagation of fire in natural peat ecosystems // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10(91)), 31–37.
9. Sun, B.Z., Ma, W.M. and Zhao, H.Y. (2013) A Fuzzy Rough Set Approach to Emergency Material Demand Prediction over Two Universes. *Applied Mathematical Modeling*, 37, 7062–7070. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2013.02.008>.
10. Development of combined method for predicting the process of the occurrence of emergencies of natural character. / Ivanets H., Horielyshev S., Ivanets M., D. Baulin, Tolkunov I., Gleizer N., Nakonechniy A. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5, Issue 10(95), 48–55. doi:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143045>.
11. Неклонський І.М., Самарін В.О., Харламов В.В. Спектральний підхід до оцінювання готовності аварійно-рятувальних підрозділів до дій за призначенням / *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Х.: НУЦЗУ, 2016. Вип. 23, 113–120.
12. Самарин В.А., Сокол Я.С. Модель готовности спасательных систем, использующих техническое оснащение для проведения аварийно-спасательных работ. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Х.: НУЦЗУ, 2015. Вип. 21, 76–82.
13. Самарин В.О. Модель готовности складових рятувальних сил до дій за призначенням / В.О. Самарин, І.М. Неклонський, Д.Л. Соколов // *Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. Харків: НУЦЗУ, 2015. Вип. 22, 113–118.*
14. Власов К.С., Денисов А.Н. Методика анализа показателей оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений // *Технология техногенной безопасности*, 2016. № 3(67), 207–213.
15. Lee, Yohan, Byungdoo Lee, and Kyung Ha Kim (2014). Optimal spatial allocation of initial attack resources for firefighting in the republic of Korea using a scenario optimization model. *Journal of Mountain Science*, 11.2, 323–335.
16. Martha A. Centeno A Markov chain location-allocation meta-model for hurricane relief planning / Martha A. Centeno, Desiree Tejada-Calvo // *Int. J. of Emergency Management*. 2014 Vol.10. No.3/4, 209–240.
17. Рогозін А.С. Оптимізація розподілу сил цивільного захисту по регіонах України / А.С. Рогозін, О.В. Пирогов, Є.А. Яровий // *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: НУЦЗУ, 2016. Вип. 23, 134–140.
18. Іванець Г.В., Іванець М.Г., Матухно В.В., Толкунов І.О., Стецюк Є.І., Попов І.І. Формалізована математична модель прогнозування надзвичайних ситуацій та можливих завдань збитків внаслідок них // *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава: ПНТУ, 2020. Вип. 4(62), 92–97.

Received (Надійшла) 29.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.04.2021

**Formalized mathematical model of compatible forecasting and ensuring readiness for emergency situation response**

H. Ivanets, M. Ivanets, I. Tolkunov, I. Popov

**Abstract. Topicality.** At present, emergency prevention should be seen as a complex, combined process of predicting emergencies and responding in advance to threats or mitigation. **Goal.** Development of a formalized mathematical model of joint emergency forecasting and ensuring emergency preparedness. **Method.** The formalized mathematical model of joint forecasting and ensuring the readiness to respond to emergencies is a system of analytical dependencies, which together allow to solve the problem of research. It implements the principle of a systematic approach to solving the problem of emergency prevention in order to prevent their occurrence or minimize the possible consequences. Emergency prevention is a complex systemic process related to the analysis of emergency threats, their forecasting and ensuring the readiness of civil defense units to respond. **Results.** A formalized mathematical model of joint forecasting and ensuring emergency response preparedness and a control algorithm that implements the developed mathematical model have been developed. The formalized mathematical model of joint forecasting and emergency preparedness is a combination of two interrelated models: the emergency forecasting model and the possible damage caused by them, and the emergency preparedness model. **Conclusions.** Formalized mathematical model of joint forecasting and emergency preparedness includes mathematical models of emergency forecasting by nature, types, levels and possible consequences as a result of them both in the state as a whole and in its regions; mathematical models for assessing the potential technical capacity and readiness of units to perform tasks as assigned, optimal allocation of resources to ensure the readiness of units, optimization of territorial structures of civil defense, cost forecasting, technical and human support for emergencies. The obtained results of the research are the foundation for substantiation of organizational and technical measures for adequate response to emergencies of different nature in real conditions.

**Keywords:** formalized mathematical model, control algorithm, emergency situation, losses from emergencies, level of readiness.

М. Д. Кацман<sup>1</sup>, В. І. Мацюк<sup>2</sup>, П. В. Лапін<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Акціонерне товариство «Українська залізниця», Київ, Україна

<sup>2</sup> Державний університет інфраструктури і технологій, Київ, Україна

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОХОРОНИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

**Анотація.** **Мета роботи** – побудова математичної моделі, яка описує характеристики захисту об'єктів критичної інфраструктури, пов'язаної з роботою охоронної групи. **Результати.** В статті розглянуті деякі поширені математичні моделі протидії тероризму та актам незаконного втручання на об'єкти критичної інфраструктури. Авторами запропоновано використання методів теорії масового обслуговування марківського і немарківського типів задля моделювання протидії персоналом охорони зловмисним угрупованням з випадковим числом зловмисників у групі та різними способами організації дій такого персоналу. Модель охорони об'єкту критичної інфраструктури розглядається як система масового обслуговування (СМО), яка складається із СМО першої і другої груп моделює ешелонування протидію групам зловмисників. Наведено диференційні рівняння Колмогорова для імовірностей станів цієї СМО. **Висновки.** Використання запропонованих моделей захисту об'єктів критичної інфраструктури від актів несанкціонованого втручання дозволить визначити раціональні значення співвідношень величин кількісного складу підрозділів охорони, інтенсивностей застосування засобів протидії і зосередження додаткових сил і засобів охорони з інтенсивністю проникнення на об'єкт зловмисних угруповань з випадковим числом зловмисників у групі задля забезпечення прийнятної імовірності виявлення, запобігання і нейтралізації таких угруповань.

**Ключові слова:** об'єкт охорони, система масового обслуговування, неординарний потік груп зловмисників, випадкове число зловмисників у групі, СМО немарківського типу, персонал охорони

### Вступ

Проблемі протидії тероризму та актам незаконного втручання у діяльність об'єктів критичної інфраструктури нині присвячено багато наукових робіт. Класифікація моделей протидії тероризму знайшла своє відображення у роботі [1], в якій приведений огляд сучасних робіт щодо моделювання системи протидії тероризму, запропонована класифікація моделей тероризму та моделей протидії тероризму. До концептуальних моделей у цій роботі пропонується віднести моделі, які розробляються спеціалістами предметної області, політологами, психологами, соціологами. Як приклад, наводиться робота [2], в якій подані емпіричні дані щодо моделей прийняття рішень учасниками терористичних організацій на різних рівнях: стратегічному, тактичному та оперативному, а також на рівні окремого терориста.

Моделі аналізу і синтезу, як правило, є математичними чи фізичними моделями. В огляді [3] охарактеризовано і наведено більше таких робіт. Зокрема у роботі [4] розроблена основа для розвитку класифікації терористичних угруповань хімічної, біологічної, радіологічної та ядерної зброї з використанням евристичного методу розпізнавання образів, методу дерев класифікації і дискримінаційного аналізу. Стосовно систем безпеки на транспорті ряд робіт присвячений аналізу пристроїв задля підвищення імовірності виявлення і зниження інтенсивності помилкових тривог. У роботі [5] з використанням байєсовського аналізу наведений метод ранжирування загроз і визначення пріоритетів заходам безпеки об'єктам.

Складність реальних ситуацій, пов'язаних із забезпеченням безпеки, потребують універсальності застосованих математичних моделей.

Ці вимоги неминує приводять у протиріччя із спільністю та обґрунтованістю результатів моделювання, тому при розв'язуванні моделей у вигляді ієрархії (звичайно більш низьким рівням ієрархії відповідає більш висока ступінь деталізації опису модельованих систем) або горизонтальному ланцюжку, у кожному елементі якого ступінь деталізації приблизно однаковий [6].

В роботі [1] детально розглянуті рівня моделювання (ієрархії моделей) протидії тероризму. Теорико-ігрові моделі боротьби з тероризмом подані у роботах [7,8,9]. В роботі [10] запропонований підхід до створення математичної моделі функціонування систем фізичного захисту об'єктів як процесу взаємодії множин на основі теорії звичайних множин, теорії нечітких множин і методу аналізу ієрархій.

В роботі [11] запропонована математична модель опису характеру взаємодії між складовими системи «захисник – зловмисник» як складовими системи «хижак – жертва». Модель являє собою модифіковану класичну модель конкуренції Лоткі – Вольтерри, яка дозволяє оцінювати зміни рівня небезпеки об'єкта із зміною його захищеності.

Застосування нечіткого когнітивного моделювання задля попередження ризикових ситуацій в умовах нечітких вихідних даних на об'єктах критичних інфраструктур розглядається в роботі [12]. В ній пропонується управлінська структура АЕС у вигляді нечіткої когнітивної моделі, приведені сценарії ризикових ситуацій і наведений їхній аналіз.

В роботі [13] розглянуті можливості застосування моделей і методів дослідження операцій для планування захисту об'єктів критичної інфраструктури. Адаптація цих моделей включає врахування стохастичної, інформаційної і поведінкової невизначеностей терористів. У цій роботі, зокрема, розглянуті узагальнення задач антагоністичної гри нападу

і захисту та оптимального розподілу захисних ресурсів.

Прикладом використання комплексних моделей з параметрами, обмірюваними у різних шкалах, є теоретико-ігрова модель для забезпечення безпеки у міжнародному аеропорту у м. Лос-Анджелес, на основі якої розроблена і введена в експлуатацію автоматизована система «Помічник для рандомізованого контролю маршрутів» (ARMOR) [14].

У роботі [15] представлений опис тестів для перевірки ARMOR, який експлуатується з 2007 р.

Таким чином, задля моделювання систем фізичної охорони об'єктів застосовується широкий спектр математичних моделей.

На наш погляд, з метою визначення ефективності дій підрозділу охорони об'єктів критичної інфраструктури, доцільно застосовувати математичний апарат теорії масового обслуговування.

### Результати досліджень

Розглянемо об'єкт, що охороняється підрозділом охорони з  $n$  осіб, як систему масового обслуговування. На об'єкт намагаються проникнути групи зловмисників з інтенсивністю  $\lambda$  з метою створення загрози його безпечного функціонування. Взагалі чисельність групи зловмисників може бути випадковим, іншими словами з імовірністю  $a_s$  група може складатися з  $s$  зловмисників.

Тобто на  $n$ -канальну СМО надходить потік  $\lambda$  [груп/од. часу] групових заявок з випадковим числом заявок у групі.

Подібні СМО знайшли своє застосування у математичних моделях інформаційних технологій, що знайшло своє відображення у роботах [16-18].

Однією з особливостей СМО, що розглядається, є те, що час  $\bar{t}_{зл.}$  перебування зловмисників на об'єкті є обмеженим, воно є випадковою величиною, яке підпорядковане показовому закону з параметром  $\eta = 1/\bar{t}_{зл.}$ .

Параметр  $\eta$  є інтенсивністю покидання заявок із каналу обслуговування СМО внаслідок обмеження їхнього перебування в системі.

Параметр  $\mu$  характеризує систему протидії  $\mu = 1/\bar{t}_{ох}$  [зловм./од. часу], де  $\bar{t}_{ох}$  - середній час застосування охоронником засобів протидії зловмиснику.

Протидія зловмисникам з боку підрозділу охорони може бути організована різними способами, що обумовлює тип системи масового обслуговування. До першої групи СМО належать:

1. СМО М/М/п/м з обмеженням ( $\eta \neq 0$ ), без взаємодопомоги ( $h = n, g = 1$ ), неординарними заявками і випадковим числом заявок у групі. Тут  $h$  величина, що дорівнює відношенню всієї кількості  $n$  охоронників (каналів обслуговування) до кількості  $g$  охоронників, які об'єднані у групу протидії одному зловмиснику, тобто  $n = n/g$ .

2. СМО М/М/п/м з обмеженням ( $\eta \neq 0$ ), повною взаємодопомогою ( $h = 1; g = n$ ), неординарними заявками і випадковим числом заявок у групі.

3. СМО М/М/п/м з обмеженням ( $\eta \neq 0$ ), з частковою взаємодопомогою ( $h = n/g$ ), неординарними заявками і випадковим числом заявок у групі.

До другої групи належать СМО немарковського типу, які моделюють умови, коли сили і засоби охорони не знаходяться на об'єкті, наприклад, коли необхідно зосередити додаткові сили і засоби. Тобто процес протидії складається з двох фаз тривалістю відповідно  $\bar{t}_1$  - часу зосередження і  $\bar{t}_{ох}$  - часу застосування засобів протидії, де  $\bar{t}_1$ , має показове розподілення з параметром  $\mu_1 = 1/\bar{t}_1$ . [охор./од. часу], а  $\bar{t}_{ох}$  - з параметром  $\mu_2 = 1/\bar{t}_{ох}$  [зловм./од. часу]. Тобто сумарний час протидії має узагальнене розподілення Ерланга з параметрами  $\mu_1$  і  $\mu_2$ .

Такі СМО мають обмеження ( $\eta \neq 0$ ), можуть бути з різними характеристиками взаємодопомоги, є система масового обслуговування з неоднорідними заявками і випадковим числом заявок у групі.

Деякі аспекти математичних моделей цих СМО розглянуті у роботах [19-22].

Розглянемо більш детально СМО 1-ої групи.

1.1 СМО М/М/п/м з обмеженням ( $\eta \neq 0$ ), без взаємодопомоги ( $h = n, g = 1$ ), неординарними заявками і випадковим числом заявок у групі.

Диференціальні рівняння Колмогорова для імовірностей станів цієї СМО:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t) + (\mu + \eta)P_1(t);$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda + \mu + \eta)P_1(t) + \lambda a_1 P_0(t) + 2(\mu + \eta)P_2(t);$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = -(\lambda + 2\mu + 2\eta)P_2(t) + \lambda \sum_{s=1}^2 s a_s P_{2-s}(t) + 3(\mu + \eta)P_2(t);$$

$$\frac{dP_k(t)}{dt} = -(\lambda + k\mu + k\eta)P_k(t) + \lambda P_{k+1}(t) \times \sum_{s=1}^k s a_s P_{k-s}(k+1)(\mu + \eta) \text{ при } 1 \leq k < n;$$

$$\frac{dP_k(t)}{dt} = -(\lambda + n\mu + k\eta)P_k(t) + \lambda \sum_{s=1}^n s a_s P_{n-s}(t) + [n\mu + (k+1)\eta]P_{k+1}(t) \text{ при } k \geq n.$$

1.2. СМО М/М/п/м з обмеженням ( $\eta \neq 0$ ), повною взаємодією ( $h = 1, g = n$ ), неординарними заявками і випадковим числом заявок у групі.

Особливостями функціонування цієї СМО, а отже, організації протидії є:

- перша заявка обслуговується усіма каналами обслуговування з інтенсивністю  $\mu = n\mu + \eta$ ;

- наступна заявка обслуговується частиною каналів обслуговування, інші продовжують обслуговування попередньої заявки, якщо воно не було закінчене;

- після закінчення обслуговування будь-якої заявки, група каналів, яка звільнилася, під'єднується до обслуговування заявок, які є в системі;

- у марківській (пуассонівській) СМО характеристики обслуговування не залежать від розподілення каналів між заявками, лише воно було би рівномірним й усі канали брали би участь в обслуговуванні одночасно [20];

- якщо в системі вже є  $n$  заявок, то  $(n+1)$ -а заявка стає у чергу.

Система диференціальних рівнянь імовірностей станів має вигляд:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t) + \mu^* P_1(t);$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda + \mu^*) P_1(t) + \lambda a_1 P_0(t) + 2\mu^* P_2(t);$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = -(\lambda + 2\mu^*) P_2(t) + \lambda \sum_{s=1}^2 sa_s P_{2-s}(t) + 3\mu^* P_3(t);$$

$$\frac{dP_k(t)}{dt} = -(\lambda + k\mu^*) P_k(t) + \lambda \sum_{s=1}^k sa_s P_{k-s}(t) + (k+1)\mu^* P_{k+1}(t) \text{ при } 1 \leq k < n;$$

$$\frac{dP_k(t)}{dt} = -(\lambda + n\mu^* + k\eta) P_k(t) + \lambda \sum_{s=1}^n sa_s P_{n-s}(t) + [n\mu^* + (k+1)\eta] P_{k+1}(t) \text{ при } k \geq n.$$

1.3. СМО М/М/п/п з обмеженням ( $\eta \neq 0$ ), частковою взаємодією ( $h = n/g$ ), неординарними заявками і випадковим числом заявок у групі.

Система диференціальних рівнянь імовірностей станів системи буде такою:

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t) + \mu_g^* P_1(t);$$

$$\mu_g^* = g\mu + \eta;$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda + \mu_g^*) P_1(t) + \lambda a_1 P_0(t) + 2\mu_g^* P_2(t);$$

$$\frac{dP_2(t)}{dt} = -(\lambda + 2\mu_g^*) P_2(t) + \lambda \sum_{s=1}^2 sa_s P_{2-s}(t) + 3(\mu_g^* P_3(t));$$

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = -(\lambda + i\mu_g^*) P_i(t) + \lambda \sum_{s=1}^i sa_s P_{i-s}(t) + (i+1)\mu_g^* P_{i+1}(t) \text{ при } 0 < i < h;$$

$$\frac{dP_h(t)}{dt} = -(\lambda + n\mu_g^*) P_h(t) + \lambda \sum_{s=1}^h sa_s P_{h-s}(t) + (n\mu + (h+1)\eta) P_{h+1}(t);$$

$$\frac{dP_{h+1}(t)}{dt} = -(\lambda + h\mu_g^* + \eta) P_{h+1}(t) + \lambda \times \sum_{s=1}^{h+1} sa_s P_{(h+1)-s}(t) + (h\mu_g^* + 2\eta) P_{h+2}(t);$$

$$\frac{dP_j(t)}{dt} = -(\lambda + h\mu_g^* (j-h)\eta) P_j(t) + \lambda \sum_{s=1}^j sa_s P_{j-s}(t) + (h\mu_g^* + (j-h+1)\eta) \times P_{j+1}(t) \text{ при } h < j < n;$$

$$\frac{dP_k(t)}{dt} = -(\lambda + n\mu_g^*) P_k(t) + \lambda \sum_{s=1}^k sa_s P_{n-s}(t) + (n\mu_g^* + \eta) P_{k+1}(t) \text{ при } k \geq n.$$

Імовірність проникнення зловмисників на об'єкт з причини того, що охорона не встигає протидіяти зловмисникам можна обчислити з формули:

$$P_{зн} = \eta \sum_{k=1}^{\infty} k P_k / \left( \lambda \sum_{k=1}^{\infty} k a_k \right). \quad (1)$$

Імовірність того, що зловмисники будуть нейтралізовані буде:

$$P_{неімп} = 1 - P_{зн}. \quad (2)$$

СМО другої групи розглянемо на прикладі системи масового обслуговування М/Е<sub>2</sub>/п/п з обмеженням ( $\eta \neq 0$ ), без взаємодопомоги, з неординарними заявками і випадковим числом заявок у групі.

Система диференціальних рівнянь імовірностей станів цієї СМО має вигляд:

$$\frac{dP_{00}(t)}{dt} = -\lambda P_{00}(t) + \mu_2^* P_{21}(t);$$

$$\frac{dP_{11}(t)}{dt} = -(\lambda + \mu_1^*) P_{11}(t) + \lambda a_1 P_{00}(t) + 2\mu_2^* P_{22}(t);$$

$$\frac{dP_{21}(t)}{dt} = -(\lambda + \mu_2^*) P_{21}(t) + \mu_1^* P_{11}(t);$$

$$\frac{dP_{12}(t)}{dt} = -(\lambda + 2\mu_1^*) P_{12}(t) + \lambda a_1 P_{11}(t) + 2\lambda a_2 P_{00}(t) + 3\mu_2^* P_{23}(t) + \lambda P_{21}(t);$$

$$\frac{dP_{22}(t)}{dt} = -(\lambda + 2\mu_2^*)P_{22}(t) + 2\mu_1^*P_{12}(t);$$

$$\frac{dP_{1k}(t)}{dt} = -(\lambda + k\mu_1^*)P_{1k}(t) + \lambda \sum_{s=1}^k sa_s P_{1(k-s)}(t) + [(k+1)\mu_2^* + \eta]P_{2(k+1)}(t) + \lambda P_{2(k-1)}(t) \text{ при } k < n;$$

$$\frac{dP_{2k}(t)}{dt} = -(\lambda + k\mu_2^*)P_{2k}(t) + k\mu_1^*P_{1k}(t) \text{ при } k < n;$$

$$\frac{dP_{1k}(t)}{dt} = -(\lambda + \eta\mu_1^* + k\eta)P_{1k}(t) + \lambda \sum_{s=1}^k sa_s P_{1(k-s)}(t) + \lambda P_{2(k-1)}(t) + (\eta\mu_2^* + k\eta)P_{2(k+1)} \text{ при } k > n;$$

$$\frac{dP_{2k}(t)}{dt} = -(\lambda + n\mu_2^* + k\eta)P_{2k}(t) + (n\mu_1^* + k\eta)P_{1k}(t) \text{ при } k > n.$$

Математична модель СМО М/Е<sub>2</sub>/n/m детально розглянута у [22]. Система масового обслуговування, яка складається із СМО першої і другої груп моделює ешелонуву протидію групам зловмисників (рис. 1). Імовірності проникнення і нейтралізації зловмисників можна обчислити з формул (1) і (2).

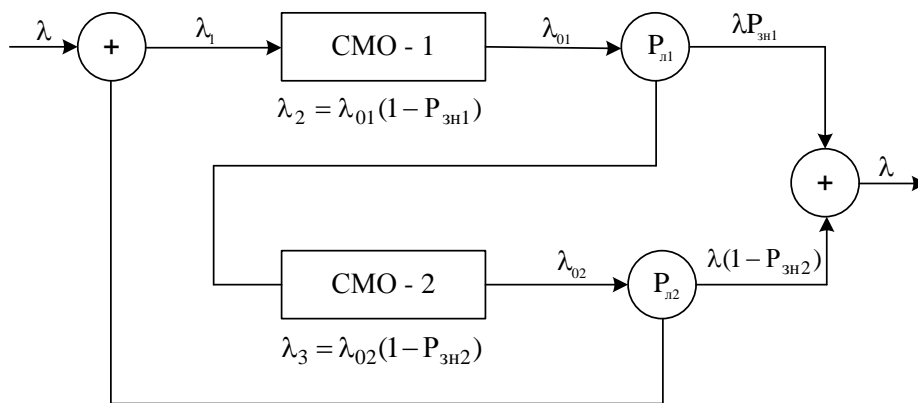


Рис. 1. СМО ешелованої протидії

У стаціонарному режимі буде мати місце такі рівняння:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \lambda_{01}; \lambda_2 = \lambda_{02}; \\ \lambda_2 &= \lambda_{01}(1 - P_{зн1}) = \lambda(1 - P_{зн1}) = \lambda P_{прон1}; \\ \lambda_{01} &= \lambda_{01}(1 - P_{зн1}) \cdot P_{зл2}^{-1} = \lambda P_{прон1} \cdot P_{зл2}^{-1}; \\ \lambda_2 &= \lambda_{02}(1 - P_{зн2}) = \lambda(1 - P_{зн1})(1 - P_{зн2}) \cdot P_{зл2}^{-1} = \\ &= \lambda P_{прон1} \cdot \lambda P_{прон2} \cdot P_{зл2}^{-1}. \end{aligned}$$

Умови стаціонарної роботи СМО:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{\lambda}{n_1(\mu_1 + \eta_1)} < 1; \\ \omega_2 &= \frac{\lambda P_{прон1}}{n_2(\mu_2 + \eta_2)} < 1. \end{aligned}$$

Повне математичне сподівання часу перебування заявки у СМО:

$$\bar{t} = (\bar{t}_{смo1} + \bar{t}_{смo2})P_{зл2}^{-1}.$$

Розглянемо приклад.

На об'єкт, що охороняється підрозділом охорони у складі трьох осіб (n = 3) здійснюється напад групи зловмисників з інтенсивністю λ = 1 [гр/од.часу]. У кожній групі з імовірністю a<sub>s</sub> може бути різна кількість зловмисників. Закон розподілу числа зловмисників у групі рівномірний, тобто з

імовірністю 0,2 у групі можуть бути 1,2,3,4 чи 5 зловмисників: a<sub>1</sub> = a<sub>2</sub> = a<sub>3</sub> = a<sub>4</sub> = a<sub>5</sub> = 0,2. Час перебування зловмисників на об'єкті  $\bar{t}_{зл}$  є обмеженою випадковою величиною яка підпорядкована по показовому закону з параметром η = 1/ $\bar{t}_{зл}$ . Інтенсивність протидії осіб охорони μ = 1/ $\bar{t}_{ох}$  [зловмисників/од.часу]. Необхідно визначити імовірність нейтралізації зловмисників охороною об'єкта при різних співвідношеннях λ:μ:η.

На рис 2 представлена СМО охорони об'єкта для приклада, що розглядається.

Диференційні рівняння Колмогорова для імовірностей станів цієї СМО будуть:

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda P_0(t) + \mu^* P_1(t);$$

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda + \mu^*)P_1(t) + \lambda a_1 P_0(t) + 2\mu^* P_2(t);$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_2(t)}{dt} &= -(\lambda + 2\mu + 2\eta)P_2(t) + \lambda a_1 P_1(t) + \\ &+ 2\lambda a_2 P_0(t) + 3\mu^* P_3(t); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dP_3(t)}{dt} &= -(\lambda + 3\mu + 3\eta)P_3(t) + \lambda a_1 P_2(t) + \\ &+ 2\lambda a_2 P_1(t) + 3\lambda a_3 P_1(t) + \\ &+ 3\lambda a_3 P_0(t) + (3\mu + 4\eta)P_4(t); \end{aligned}$$



$$\frac{dP_4(t)}{dt} = -(\lambda + 3\mu + 4\eta)P_4(t) + \lambda a_1 P_3(t) + 2\lambda a_2 P_2(t) + 3\lambda a_3 P_1(t) + 4\lambda a_4 P_0(t) + (3\mu + 5\eta)P_5(t);$$

$$\frac{dP_5(t)}{dt} = -(\lambda + 3\mu + 5\eta)P_5 + \lambda a_1 P_4(t) + 2\lambda a_2 \times P_3(t) + 3\lambda a_3 P_2(t) + 4\lambda a_4 P_1(t) + 5\lambda a_5 P_0(t) + (3\mu + 6\eta)P_6(t).$$

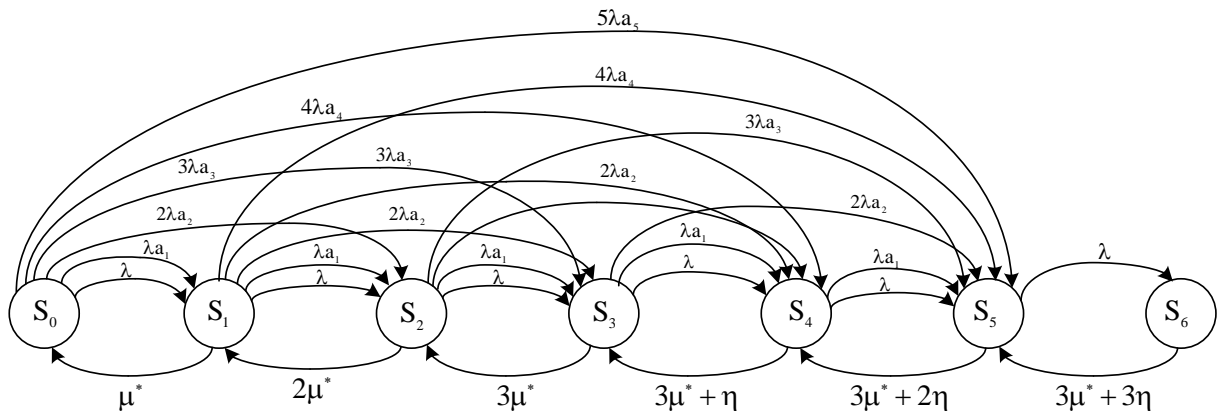


Рис. 2. СМО охорони об'єкта для прикладу, що розглядається

Нормуюча умова:

$$\sum_{k=0}^6 P_k = 1;$$

$$\mu^* = \mu + \eta.$$

Для стаціонарних умов функціонування цієї СМО лінійні рівняння мають вигляд

$$0 = -\lambda P_0(t) + \mu^* P_1;$$

$$0 = -(\lambda + \mu^*) P_1 + \lambda a_1 P_0 + 2\mu^* P_2;$$

$$0 = -(\lambda + 2\mu^*) P_2 + \lambda a_1 P_1 + 2\lambda a_2 P_0 + 3\mu^* P_3$$

$$0 = -(\lambda + 3\mu^*) P_3 + \lambda a_1 P_2 + 2\lambda a_2 P_1 + 3\lambda a_3 P_0 + (3\mu^* + \eta) P_4;$$

$$0 = -(\lambda + 3\mu^* + \eta) P_4 + \lambda a_1 P_3 + 2\lambda a_2 P_2 + 3\lambda a_3 P_1 + 4\lambda a_4 P_0 + (3\mu^* + 2\eta) P_5;$$

$$0 = -(\lambda + 3\mu^* + 2\eta) P_5 + \lambda a_1 P_4 + 2\lambda a_2 P_3 + 3\lambda a_3 P_2 + 4\lambda a_4 P_1 + 5\lambda a_5 P_0 + (3\mu^* + 3\eta) P_6;$$

Імовірність  $P_{\text{нейтр}}$  визначалась з формул (5,6).

На рис. 3 поданий графік залежності імовірності  $P_{\text{зн}}$  при різних значеннях  $\mu$  та  $\eta$ .

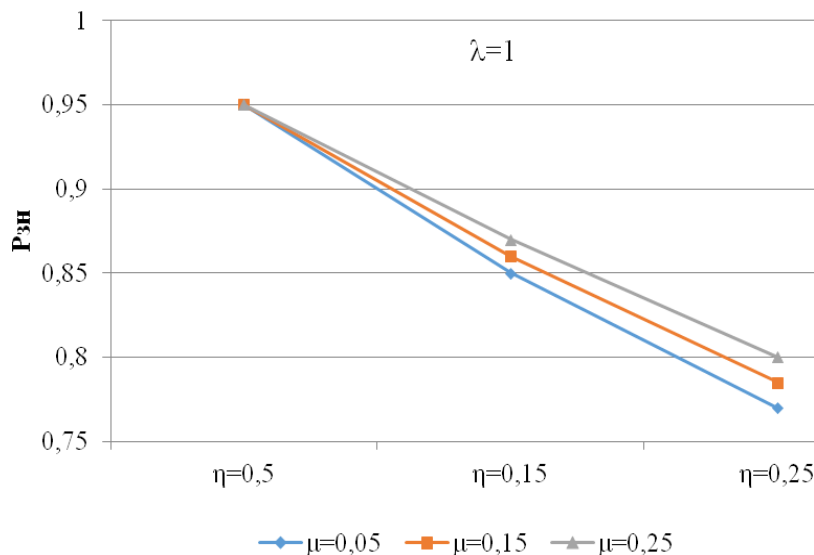


Рис. 3. Графік залежності імовірності нейтралізації зловмисників від величини інтенсивностей протидії

З рис. 3 видно, що із збільшенням інтенсивності протидії величина імовірності  $P_{\text{зн}}$  збільшується навіть при зменшенні часу перебування зловмисників на об'єкті охорони.

### Висновок

Використання запропонованих моделей захисту об'єктів критичної інфраструктури від актів

несанкціонованого втручання дозволить визначити раціональні значення співвідношень величин кількісного складу підрозділів охорони, інтенсивностей застосування засобів протидії і зосередження додаткових сил і засобів охорони з інтен-

сивністю проникнення на об'єкт зловмисних угруповань з випадковим числом зловмисників у групі задля забезпечення прийнятної імовірності виявлення, запобігання і нейтралізації таких угруповань.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шумов В.В. Модели протидії тероризму: класифікація. Труды ИСА РАН. Том 62, 3/2012, С.106-115.
2. Social Science for Counterterrorism. Putting the Pieces Together/Davis P.K., Cragin K., Editors. RAND Corporation, 2009.
3. Wright P.D, Liberatore M.I., Nydick R.L, A Survey of Operations Reserch Models and Application in Homeland Security/Interfaces, 2006.V.36, №6, pp.514-529.
4. Sullivan T.J., Perry W.L. Identifying indicators of chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN) Weapons development activity in sub-national terrorist group/ J. Oper. Res. Soc. 2004, N 55 (4) , PP. 361-374.
5. Pate-Cornell E. Fusion of intelligence information: A.Bayesian approach/ Risk Anal. 2002, N 22(3), pp. 445-454.
6. Новиков Д.А. Иерархические модели военных действий/ Управление большими системами. Вып. 37.М.:ИПУ РАН, 2012, С.25-62.
7. Bachrach Y., Draief V., Goyal S. Security games with contagion/University of Cambridge, 2011.
8. Bier V., Oliveros S., Samuelson L. Choosing what to protect: Strategic defensive allocation against an unknown attacker//Journal of Public Economic Theory, 2006,N9, pp. 1-25/
9. Kiekintveld C., Tambe M., Marecki J. Robust Bayesian Methods for Stackelberg Security Games//Conference: Autonomous Agents & Multiage Systems/Agent Theories, Architectures and Languages – ATAL, pp. 1467-1468, 2010.
10. Боровский А.С., Тарасов А.Д. Интегрированный подход к разработке общей модели функционирования систем физической защиты объектов // Труды ИСА РАН. Том 61. 1/2011, С. 3-13.
11. Дормидонтов А.В., Миронова Л.В., Мионов В.С. О возможности применения модели противодействия к оценке уровня безопасности объектов транспортной инфраструктуры// Научный Вестник МГТУ. Том 21, № 03, 2018, С.67-77.
12. Гинис Л.А., Колоденкова А.Е. Нечеткое моделирование для предупреждения рисков ситуации на объектах критической инфраструктур// Вестник УГАТУ, Том 21, № 4(78), 2017, С. 113-1120.
13. Норкин В.И., Гайворонский А.А., Заславский В.А., Кнопов П.С. Модели оптимального распределения ресурсов для защиты объектов критической инфраструктуры/ Кибернетика и системный анализ. Том 54 № 5, 2018, С.13-26.
14. Pita J., Jain M., Western C., Portway C., Tambe M., Ordonez F., Kraus S., Paruchuri P. Deployed ARMOR protection: The application of a games theoretic model for security at the Los Angeles International Airport/In Proc. Of AAMAS, 2008.
15. Taylor M.E., Kiekintveld C., Western C., Tambe M. Beyond Runtimes and Optimality: Challenges and Opportunities in Evaluating Deployed Security Systems/ In Proceeding of the AAMAS – 09 Workshop on Agent Design: Advancing from Practice to Theory, May 2009.
16. Рыжков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технология. СПб: КОРОНА принт, 2004, 384 с.
17. Рыжков Ю.И. Расчет систем обслуживания с групповыми поступлением заявок/ Информационно-управляющие системы № 2. 2007, С.39-49.
18. Моник В.Б. , Скрыпников А.А., Федотов А.Ю. Системы массового обслуживания неделимых групповых заявок с очередью неограниченной длины/ Научный Вестник МГТУ ГА № 184, 2012, С. 108-112.
19. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в ТМО. – М.: Наука, 1987. – 336 с.
20. Шуенкин В.А., Донченко В.С. Прикладные модели ТМО. К.: НМКВО, 1992, 398 с.
21. Венцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – Уч. Пособие для вузов – 2-е изд., М.: Высшая школа, 2000. — 383 с.
22. Katsman M. D., Mathematical models of ecologically hazardous rail. Trafficaccidents / M. D. Katsman, V. K., Myronenko, V. I. Matsiuk // Reliability: theory&applications. – Vol. 10, № 1(36). – San Diego, USA – 2015. – P. 28–39.

Received (Надійшла) 22.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.04.2021

### Mathematical model of critical infrastructure protection

M. Katsman, V. Matsyuk, P. Lapin

**Abstract.** The purpose of the work is to build a mathematical model that describes the characteristics of the protection of critical infrastructure related to the work of the security team. Results. The article discusses some common mathematical models of counter-terrorism and acts of illegal interference with critical infrastructure. The authors propose the use of methods of queuing theory of Markov and non-Markov types to model the resistance of security personnel to a malicious group with a random number of criminals in the group and different ways of organizing the actions of such personnel. The critical infrastructure protection model is considered as a queuing system (QMS), which consists of QMS of the first and second groups simulates echelon resistance to groups of attackers. Kolmogorov's differential equations for the probabilities of the states of this QMS are given. Conclusions. The use of the proposed models of protection of critical infrastructure from acts of unauthorized interference will determine the rational values of the ratios of the quantitative composition of security units, the intensity of countermeasures and concentration of additional forces and security with the intensity of penetration of malicious groups with a random number of attackers. to ensure an acceptable probability of detection, prevention and neutralization of such groups.

**Keywords:** security object, queuing system (QS), nonordinary stream of malefactor groups, random number of malefactors in the group, non-Markov type QS, security personnel.

# Зв'язок, телекомунікації та радіотехніка

УДК 621.391.6

doi: 10.26906/SUNZ.2021.2.125

Я. М. Грохольський<sup>1</sup>, Л. М. Сакович<sup>2</sup>, Г. Я. Криховецький<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

## ВІЙСЬКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК У ПОЧАТКОВИЙ ПЕРІОД ЛІКВІДАЦІЇ АВАРІЇ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ АЕС

**Анотація.** У статті проаналізовано процес розгортання, динаміка змін та особливості використання системи військового зв'язку у 30-ти кілометровій зоні Чорнобильської АЕС у період з 26.04.86 р. до 05.12.86 р. Матеріал оснований на документах та наказах оперативної групи МО СРСР (в/ч 06407), статистичних даних, які представлялись щоденно від елементів зв'язку, та аналізі авторами записів у відділі зв'язку вказівок керівництва і результатів їх реалізації щодо оперативних змін у структурі зв'язку у межах 30-ти кілометрової зони, спеціальної зони (блоки ЧАЕС) і стосовно взаємодії із зовнішніми структурами поза 30-ти кілометровою зоною у зазначений період ліквідації аварії на ЧАЕС. За рядками й цифрами цієї статті – величезна за обсягом і безмежна за відповідальністю робота десятків тисяч наших громадян, цивільних і військових, солдатів, сержантів, прапорщиків, офіцерів і жінок, які самовіддано, у небачено стислі строки, за умов страшної безпосередньої загрози своєму здоров'ю і життю, створювали систему військового зв'язку, приводили цивільний зв'язок до нових умов, знаходили нестандартні та ефективні рішення проблем, що виникали і були несподіваними, складними та непередбачуваними за наслідками.

**Ключові слова:** ЧАЕС; ліквідація аварії; військовий зв'язок; оперативна група; накази.

### Вступ

У період 03.10.1986 р. до 05.12.1986 р. автори послідовно в часі виконували обов'язки старших офіцерів відділу зв'язку оперативної групи МО СРСР, на який були покладені задачі організації і забезпечення діючого зв'язку по управлінню військами, що займались ліквідацією аварії на ЧАЕС.

Розміщувався відділ у м. Чорнобилі, в актовому залі будинку райкому партії. Офіцери відділу на всіх етапах ліквідації аварії забезпечували неперервне чергування по підтримувannya системи у належному стані й оперативному вирішенню назрілих проблем, знаходились у роз'їздах у межах 30-ти кілометрової зони і спеціальної зони (ЧАЕС) для розв'язання задач зв'язку, рекогносцировки і оцінки місць розгортання засобів зв'язку, прокладання кабельних ліній, забезпечення взаємодії в питаннях зв'язку різних внутрішньозонових і поза зонових структур, вирішення екстрених питань зв'язку, оцінки екстремальних ситуацій, уточнення на місцях прийнятих рішень.

### Основна частина

**Загальна характеристика стану військового зв'язку.** З дня аварії і по серпень 1986 року система зв'язку кількісно нарощувалась і її функціонування супроводжувалось структурними та організаційними перетворюваннями, пов'язаними із збільшенням кількості військових частин і цивільних структур, задіяних для ліквідації наслідків аварії, динамікою, багатоваріантністю, складністю і певною невизначеністю кінцевих результатів рішень багатьох задач, які ставились, з необхідністю термінової реалізації експрес-наказів керівних органів в екстре-

них випадках, постійної корекції і зміни планів, забезпечення ефективної взаємодії структурних елементів всього контингенту ліквідаторів. На кінець цього періоду визначились найбільш інтенсивні інформаційні напрямки, стабілізувалась кількість військових частин [1], в основному визначилась географія місць виконання робіт, що дозволило перейти від кількісних показників в нарощуванні системи зв'язку до вдосконалення її структури, раціональнішому використанню сил і засобів зв'язку, певному їх скороченню. У першу чергу обмежувалось застосування радіо-і космічного зв'язку, основна увага приділялась використанню кабельних і радіорелейних ліній зв'язку, а також орендованих у Міністерства зв'язку каналів.

Дані щодо зазначених у поданому дослідженні апаратних і апаратури, які використовувались у системі військового зв'язку, представлені у відкритих веб-сайтах [2–15], основні принципи функціонування подібної апаратури розкриті в [20–22].

Значимо, що подані нижче результати оснований на джерелах інформації, які зазначені в анотації, відображались документально і в сукупності сформували основну достатньо тривалу і стабільну (базову) складову загального зв'язку. Об'єм реального зв'язку значно більший. Зокрема, не повністю врахована система цивільного зв'язку, міліції, КГБ, мобільного зв'язку із рухомими об'єктами, екстрено створеними в інтересах ліквідації аварії та розв'язання ситуаційних задач. Проблемним і практично неможливим було врахування зв'язків із автотранспорту органів управління в умовах динаміки переміщень, термінових нетривалих напрямків

радіозв'язку за допомогою мобільних радіостанцій у межах створюваних і переформованих структур та їх використання. Статистика не враховує частини екстрених і польових зв'язків між палатками, апаратними, різними утвореннями за допомогою кабелю П-274 та телефонних апаратів ТА-57 чи подібних засобів зв'язку, із-за відсутності зафіксованих даних про створення таких зв'язків. В основі цивільного зв'язку були стаціонарні канали, частина із яких орендувалась в інтересах військового зв'язку. Міліція і КГБ використовували для аналізу та розв'язання екстрених задач мобільний зв'язок за допомогою своїх портативних радіостанцій та канали цивільного і військового зв'язку.

**Аналіз динаміки утворення і функціонування системи військового зв'язку.** Організація і розвиток системи військового зв'язку з моменту аварії і до 05.12.86 р., деякі узагальнення і статистичні матеріали характеризуються такими даними.

1. Для забезпечення зв'язком оперативну групу КВО в район аварії (м. Прип'ять) 26.04.86 р. були виділені засоби зв'язку від 113 бригади зв'язку КВО і розгорнутий вузол зв'язку (ВЗ) "Волномер"\* у складі:

- станція супутникового зв'язку Р-440-О [2] – 1 к-т;
- апаратна засекреченого зв'язку П-244 ТМ [3] – 1 к-т;
- комплекс гарантованого засекречування мовних сигналів Т-222 П [4– 6] – 1 к-т.

\*назви вузлів і апаратури зв'язку надані у російськомовному варіанті.

2. 27.04.86 р. о 9.50 був утворений телефонний засекречений канал гарантованої стійкості („Булава” – Т-222 П) із вузлом зв'язку ГШ ЗС СРСР “Рубин” за допомогою системи космічного зв'язку і канал тимчасової стійкості (Т-217 [7]) із використанням каналу ТЧ, а з вузлом зв'язку штабу КВО “Легенда” – два телефонні зв'язки тимчасової стійкості (Т-217).

До кінця дня 27.04.86 р. ВЗ “Волномер” був підсилений апаратною П-238 Т [8] для забезпечення телеграфним засекреченим зв'язком гарантованої стійкості із ВЗ “Рубин” і чотирма КШМ Р-142 [9] для забезпечення управління загонами радіаційної розвідки. Цього ж дня для управління авіацією окремим полком зв'язку військово-повітряних сил КВО був розгорнутий ВЗ “Привал” у складі:

- П-244 Т – 1 к-т;
- радіорелейної станції Р-409 [10] – 1 к-т;
- радіостанції Р-140 [11] – 1 к-т.

Від ВЗ “Привал” були забезпечені телефонні засекречені зв'язки тимчасової стійкості (Т-217) із ВЗ штабу ВПС КВО “Десна”, ВЗ “Волномер” і ВЗ аеродрому м. Чернігова “Маятник”. В кінці цього дня був використаний танк для утворення технологічної пробірки з використанням гармати. Його супроводжувала і забезпечувала зв'язок та управління командно-штабна машина Р-142.

3. 29.04.86 р. ВЗ “Волномер” і ВЗ “Привал” були передислоковані, з метою зменшення опромінення особового складу, а також впливу радіації на напівпровідники в апаратурі, із м.

Прип'ять у м. Чорнобиль, звідки організувала свою роботу оперативна група КВО під керівництвом заступника командувача військами округу.

4. 4.05.86 р. у м. Чорнобиль прибула оперативна група МО СРСР (40 чол.) під керівництвом Головнокомандувача військами Південно-Західного напрямку.

Для забезпечення управління військами хімічного захисту, інженерними військами, частинами цивільної оборони (ЦО), медичними частинами, які прибували в район 30-ти кілометрової зони, 4 і 5 травня 1986 р. ВЗ “Волномер” підсилюється засобами зв'язку і додатково розгортаються:

- a) ВЗ ЗКП ОГ МО СРСР у м. Іванків;
- b) допоміжний ВЗ у районі н. п. Оране;
- c) радіорелейні лінії:
  - Р-409 (м. Іванків – н. п. Оране);
  - Р-404 [12] (м. Іванків – ВЗ ЗКП КВО “Труборез”);
  - Р-409 (м. Іванків – м. Чорнобиль);
  - Р-409 (м. Чорнобиль – н. п. Оране).
- допоміжний ВЗ “Волномер-1” у районі н. п. Опачичі під Чорнобилем, де було поселене керівництво.

Усього для розгортання системи зв'язку було задіяно:

- a) особового складу – 294 чол., у тому числі:
  - офіцерів – 48 чол.;
  - прапорщиків – 50 чол.;
  - солдатів і сержантів – 196 чол.
- b) автотранспорту – 98 одиниць, у тому числі:
  - спеціальних машин – 83;
  - вантажних – 15.

5. У сховищі цивільної оборони (під адміністративним корпусом) на АЕС був розгорнутий 6.05.86 р., в інтересах забезпечення управління силами і засобами, які знаходились безпосередньо на АЕС, вузол зв'язку “Пробег”, з комутаторами та апаратурою засекречування. Були підсилені засобами зв'язку робочі місця голови урядової комісії і керуючого складу міністерств на АЕС і в м. Чорнобилі. Від ВЗ “Волномер” і “Волномер-1” були забезпечені телефонні і телеграфні зв'язки з гарантованою стійкістю із ВЗ “Рубин”, ВЗ штабу Південно-західного напрямку “Каскад”, ВЗ штабу КВО “Легенда”.

У початковий період ліквідації аварії зв'язок з військовими структурами в межах 30-ти кілометрової зони і поза нею здійснювався шляхом прив'язки до вузлів “Волномер” і “Волномер-1”.

6. 9.05.86 р. було прийняте рішення на організацію управління по секторах (уся 30-ти кілометрова зона була розділена на три сектори і одну особливу зону територія – район АЕС). У зв'язку з цим були сформовані три вузли зв'язку, які 11 травня 1986 року прибули в район зосередження і розгорнулись:

- ВЗ “Разворот” (сектор № 1) – у районі н. п. Пірки (потім переміщений в район н. п. Рудаков); відповідальний БВО;
- ВЗ “Славянка” (сектор № 2) – у районі н. п. Терехов; відповідальний КВО;

• ВЗ “Станиця” (сектор № 3) – у районі н. п. Діброва (потім переміщений в район н. п. Радча); відповідальний ПрикВО.

Вузли зв'язку зон були з'єднані з ВЗ МО “Волномер” в Чорнобилі і з ВЗ своїх штабів лініями кабельного, радіорелейного, тропосферного і супутникового зв'язку. Для підвищення пропускної здатності і надійності виходу на мережі зв'язку Міністерства оборони і Міністерства зв'язку силами радіорелейного батальйону КВО була побудована радіорелейна лінія прив'язки з використанням РРС Р-404. За допомогою закинутої, але відремонтованої повітряної лінії зв'язку, був забезпечений вихід із ВЗ “Волномер” на один із опорних ВЗ КВО.

Створення вузлів зв'язку секторів дозволило в умовах радіоактивного зараження, динаміки робіт і переміщень забезпечити більш стійке і оперативніше управління підлеглими військовими частинами і підрозділами.

У кожному секторі було організовано по одній станції фельд'єгерсько-поштового зв'язку (СФПС).

Прийняті заходи забезпечили всі види зв'язку від базового ВЗ “Волномер” у м. Чорнобилі (телефон, телеграф, кольоровий фототелеграф, фельд'єгерсько-поштовий) з ВЗ ГШ “Рубін” (Москва), ВЗ КВО “Легенда” (Київ), ВЗ “Каскад” Південно-західного оперативного напрямку (Кишинів). Акцент здійснювався на засекречений зв'язок.

7. Досвід організації і забезпечення зв'язків, який був за цей час набутий, показав, що частини цивільної оборони, окремі медичинські батальйони, частини і підрозділи тилу, інженерні та хімічні війська своїми штатними засобами зв'язку не здатні забезпечити зв'язки в потрібному об'ємі, який визначався екстремальністю і динамізмом ситуації, характером задач ліквідації, що приводило до необхідності виділення в їх розпорядження засобів зв'язку за рахунок інших військових частин. Це в певній мірі додатково підривало боеготовність військових частин, з'єднань та округів щодо основного їх призначення із-за необхідності направляти війська зв'язку у Чорнобильську зону, ослабляючи систему власного управління.

8. Зазначимо, як показує досвід, що у початковий період будь-якої несподіваної, екстреної, динамічної ситуації (техногенні, природні катаклізми, воєнні дії, терористичні акції, крупні аварії) зв'язок можливий тільки за допомогою мобільних і портативних радіозасобів. У чорнобильський період їх не вистачало. Радіостанції типу Р-105М, Р-107М недостатньо компактні, потребують солдата для переноски, утворюють на одній частоті мережу із кількох абонентів (один говорить всі слухають), комутація абонентів між собою неможлива. Значно зручнішими були малогабаритні радіостанції Р-148, Р-157, Р-158 (вагою до 4 кг, дальність зв'язку до 4–6 км), але їх майже не було, приходилось терміново замовляти на військових складах для виконання задач, що планувались (зокрема, ручне очищення даху 4-го блоку). Більш зручними були міліцейські радіостанції (ГОСТ 16019-70), але їх було мало.

9. Для забезпечення високої оперативності передачі кольорової картографічної інформації про радіаційну обстановку і динаміку проведення очищувальних робіт було прийнято рішення про використання комплексу „Цвет” (76В157) [13] у напрямках:

• ВЗ “Волномер” – ВЗ “Рубін” (Чорнобиль – Москва);

• ВЗ “Волномер” – ВЗ “Каскад” (Чорнобиль – Кишинів).

У підготовчий період до проведення дезактивації зараженої місцевості у районах проведення робіт було розгорнуто:

a) ВЗ пункту управління оперативної групи МО СРСР – 1;

b) ВЗ пунктів управління оперативних груп КВО, БВО, ПрикВО (відповідальних за сектори) – 3;

c) ВЗ ПУ з'єднань і частин – 20;

d) допоміжних ВЗ – 1;

e) ліній зв'язку:

• радіорелейних – 250 км;

• тропосферних – 80 км;

• кабельних – 25 км;

f) напрямків космічного зв'язку – 5;

g) створено радіомереж – 17;

h) організовано каналів зв'язку:

• телефонних засекречених – 34;

• телеграфних засекречених – 7;

• відкритих – 48.

У відповідності з директивою ГШ ЗС СРСР 177/23/1447 від 31.7.86 р. у секторах № 1, 2, 3 були організовані переговірні пункти з під'єднанням телефонів ЦБ до комутаторів міжміського зв'язку на ближчих районних вузлах зв'язку (РВЗ). Станом на 20.5.86 р. в системі зв'язку було задіяно:

a) особового складу – 1218 чол., у тому числі

• офіцерів – 123;

• жінок – 17;

b) автотранспорту – 371 одиниця, у тому числі спеціальних автомашин – 262.

10. До серпня 1986 року продовжувалось кількісне нарощування системи зв'язку, структурні та організаційні зміни. Усього було утворено 63 вузла зв'язку, у тому числі:

• ВЗ ПУ ОГ МО СРСР (912 ОГ) – 1;

• ВЗ особливої зони – 1;

• ВЗ секторів – 3;

• ВЗ допоміжних ПУ – 2;

• ВЗ з'єднань і військових частин – 56.

Протяжність ліній зв'язку склала 1432 км, у тому числі:

• радіорелейних – 516 км;

• тропосферних – 120 км;

• кабельних – 796 км;

• прийнято 65 орендованих у Міністерства зв'язку каналів;

• організовано напрямків космічного зв'язку – 6.

У системі зв'язку було задіяно:

a) особового складу – 1702 чол., у тому числі:

• офіцерів – 148 чол.;

• прапорщиків – 139 чол.;

• солдат і сержантів – 1376 чол.;

- жінок – 39 чол.

б) автомобілів – 379, із них спеціальних – 298.  
Усього було організовано зв'язків – 169, із них засекречені з гарантованою стійкістю – 34, з тимчасовою стійкістю – 87.

**11.** Зі серпня 1986 року кількісне нарощування системи зв'язку припинилось, більша увага надавалась її вдосконаленню, раціональному використанню сил і засобів, щоб понизити кількісні показники і підготувати систему осінньо-зимового періоду експлуатації. Визначилась стабільна (базова) частина системи зв'язку, яка дозволила забезпечити необхідні оперативність і гнучкість в управлінні, що пов'язано із динамікою обстановки, задачами військам і постійними їх переміщеннями. До базової структури під'єднувались чи від'єднувались місцеві елементи зв'язку.

**12.** З метою недопущення втрат інформації і несанкціонованому доступу до неї були прийняті заходи:

а) з оперативними групами секторів і всіма підлеглими військовими частинами був організований в основному засекречений зв'язок по каналах і лініях військової системи польового зв'язку і по провідних каналах державної мережі зв'язку. Тропосферний зв'язок використовувався як резервний;

б) була заборонена робота радіозасобів у короткохвильовому діапазоні, за винятком радіомережі радіаційної обстановки, для якої був визначений режим роботи “чергове приймання”. Робота засобів радіозв'язку дозволялась тільки при втраті всіх видів зв'язку і з дозволу ПУ зв'язком ОГ МО СРСР;

с) за роботою і станом радіомереж був установлений радіоконтроль силами чотирьох постів контролю безпеки зв'язку;

д) скорочувалось кількість абонентів відкритого зв'язку.

**13.** У зв'язку з тим, що строки ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС затягувались і в принципі не були чітко визначеними, війська зв'язку та інші військові формування приступили до підготовки місць свого розміщення і вузлів зв'язку до роботи в зимових умовах. Розпочались роботи по переформуванню в м. Чорнобилі ВЗ “Волномер” у стаціонарний варіант функціонування. Ці роботи були в основному закінчені близько 20.10.86 р. Без потреби дублюючи зв'язки були ліквідовані, частина засобів зв'язку була вивільнена.

**14.** Станом на 20.11.86 р. усього було організовано 49 вузлів зв'язку, у тому числі:

- ВЗ ОГ МО СРСР (“Волномер”) – 1;
- ВЗ особливої зони (“Пробег”) – 1;
- ВЗ секторів (“Разворот”, “Станиця”, “Слав'янка”) – 3;
- допоміжні ВЗ (“Волномер-1”, “Бадейка”) – 2; “Бадейка” – ВЗ тилу ОГ МО СРСР; “Волномер-1” – ВЗ у місці проживання керівництва ОГ (н.п. Опачичі);
- ВЗ військових з'єднань і частин – 42.

Протяжність ліній зв'язку складала 1091 км, у тому числі:

- радіорелейних – 340 км;
- тропосферних – 160 км;
- кабельних – 591 км;
- прийнято 36 орендованих каналів і ліній зв'язку.

Відстані між вузлами зв'язку (по прямій лінії):

- “Разворот” – “Волномер” – 60 км;
- “Слав'янка” – “Волномер” – 21 км;
- “Станиця” – “Волномер” – 66 км;
- “Бадейка” – “Волномер” – 26 км;
- “Волномер-1” – “Волномер” – 10 км;
- “Пробег” – “Волномер” – 16 км.

Комплекс “Цвет” забезпечував зв'язки:

- “Волномер” – “Рубин”;
- “Волномер” – “Каскад”.

За допомогою апаратури П-205 (“Ляхта”) [15] передавалась попередньо зашифрована на стрічку інформація у напрямки:

- “Волномер” – “Рубин”;
- “Волномер” – “Каскад”.

У системі зв'язку було задіяно 629 чол., у тому числі:

- офіцерів – 69 чол.;
- прапорщиків – 49 чол.;
- солдат і сержантів – 485 чол.;
- жінок – 26 чол.

**15.** Загальні підсумки обміну інформацією з 27 квітня по 24 листопада 1986 року у створеній системі військового зв'язку, організованої для управління процесами ліквідації наслідків аварії ЧАЕС, наступні\*:

❖ проведено переговорів – 1376572, із них ЗАС – 766550;

❖ передано ТЛГ ЗАС телеграм/слів – 9125/962620;

❖ прийнято ТЛГ ЗАС телеграм/слів – 7994/938297;

❖ передано спецстрічок (“Ляхта”) – 10735;

❖ передано факсимільних повідомлень (“Цвет”): кольорової графічної інформації (ЦГИ) – 1503, звичайної графічної інформації (ОГИ) – 348; прийнято: ЦГИ – 425, ОГИ – 348.

❖ коефіцієнт справної дії (КСД) системи – приблизно 97%;

\*узагальнення основані на даних, які були документально зафіксовані.

**Середні значення за місяць** з 27.4.86 р. по 24.11.86 р.:

➤ проведено переговорів – 183203, із них ЗАС – 106665;

➤ передано ТЛГ ЗАС телеграм/слів – 1270/133947;

➤ прийнято ТЛГ ЗАС телеграм/слів – 1110/130564;

➤ передано спецстрічок (“Ляхта”) – 1492;

➤ передано ЦГИ – 210, ОГИ – 69;

➤ прийнято ЦГИ – 58, ОГИ – 49;

➤ КСД – приблизно 97%; дещо нижчий він був у квітні-травні і вищий після вересня 1986 року.

**Середні значення за день** з 27.4.86 р. по 24.11.86 р.:

✓ проведено переговорів – 6310, із них ЗАС – 3616;

- ✓ передано ТЛГ ЗАС телеграм/слів – 43/4541;
- ✓ прийнято ТЛГ ЗАС телеграм/слів – 38/4426;
- ✓ передано ЦГИ – 7, ОГИ – 2,3;
- ✓ прийнято ЦГИ – 2, ОГИ – 1,6;
- ✓ КСД – приблизно 97%.

**16.** Цілеспрямованого заважання функціонування системи зв'язку, радіоелектронного подавлення (РЕП) не спостерігались. Дози радіації поза зоною ЧАЕС, які діяли на засоби зв'язку, дозволяли підтримувати зв'язок у задовільному стані. Вплив високих рівнів радіації, з метою досліджень, на зв'язок не передбачався, технологічно був складний і небезпечний для життя. Металеві поверхні засобів зв'язку та різних технологічних систем були джерелом вторинного опромінення, яке часто перевершувало допустиму дозу. Показання дозиметрів індивідуального використання у кінці робочого дня, як правило, перевищували максимальне значення шкали. Цим користалися деякі особи, що були у відносно безпечному місці стосовно рівня радіації, і щоб “накачати” собі рентгенів залишали на ніч засоби вимірювання у місцях з високим фоном радіації. Тому були встановлені норми опромінення: у межах 30-ти кілометрової зони – 0,3 рентген на добу, у межах спеціальної зони (блоки АЕС) – 1 рентген на добу, хоча, у залежності від діяльності ліквідатора, місця його знаходження, динаміки переміщень і тривалості перебування у проблемних точках, можна було “зловити” десятки і сотні рентген.

**17.** Технічна сторона функціонування системи зв'язку виявила достатньо високу інтенсивність виходу із ладу пристрою УПС-9,6 (модем зі швидкістю обміну 9,6 кбіт/с, що перевищувало на той час швидкості обміну модемів заграничних фірм) комплексу Т-230 (“Интерьер”), для ремонту і заміни плат постійно знаходились представники заводу-вироблювача. Були часті відмови блоків комплексу “Цвет”, який використовувався сеансами, але за рахунок резервування технічні проблеми майже не впливали на неперервність передачі і прийому чорно-білої і кольорової графічної інформації (передавалась відображені на карті зміни стосовно прийнятих рішень і результатів робіт). Відмітимо, що реалізовані в цій апаратурі методи підвищення вірогідності передачі цифрової інформації дозволили достатньо ефективно вести обмін по неякісних каналах. Це питання актуальне для сучасних засобів зв'язку при роботі по неякісних каналах, а також в умовах радіоелектронного подавлення (РЕП) радіотрактів.

Інша несправна у системі зв'язку апаратура по мірі можливості ремонтувалась або замінювалась на справну, якщо така була в наявності. Питання ремонту замикалось на екіпажах апаратних і станцій з використанням ЗИП та допомоги сусідніх по розміщенню засобів зв'язку. Певних централізованих “летучих” органів моніторингу та допомоги не було, більш складні технічні питання аналізувались у телефонному режимі з прийняттям певних рішень, деколи тривалих щодо виконання, з використанням окружної бази КВО по зберіганню і ремонту техніки зв'язку та можливостей цивільних структур.

Зазначимо, що для забезпечення роботи складних комплексів “Булава” та “Интерьер” по-

трібні якісні канали зв'язку, інакше мовний синтезований звук на приймальній стороні стає незрозумілим. Якість реальних каналів часто суттєво погіршувалась із-за впливу характеристик неякісних трактів передачі сигналів в умовах експлуатації, що вимагало постійних регулювальних операцій та використання резервних каналів. Порівнюючи із сьогоденням [16, 17], подібна апаратура може розміститися на столі, забезпечуючи значно якісніший зв'язок (на рівні всім відомого мобільного).

Переміщення транспорту, роботи по дезактивації приводили до обривів кабельних ліній, участки яких достатньо оперативно замінювали лінійні підрозділи військових частин.

**18.** Апаратні зв'язку, антенні системи, обслуговуючі структури, виходячи із динамічної ситуації та відсутності супротивних дій, не маскувались. Зрозуміло, що такий стан недопустимий в умовах сучасної практики ведення бойових дій і можливостей противника.

**19.** Станом на 5.12.86 р. відділ зв'язку ОГ МО СРСР був скорочений і складався із 4-х офіцерів (начальника відділу і 3-х старших офіцерів), які здійснювали загальне керівництво системою зв'язку. З початку 1987 року управління системою зв'язку було передано цивільній обороні. Представлений матеріал був частково висвітлений в [18, 19].

## Висновки

**1.** За рядками й цифрами цієї статті – величезна за обсягом і безмежна за відповідальністю робота десятків тисяч наших громадян, цивільних і військових, солдатів, сержантів, прапорщиків, офіцерів і жінок, які самовіддано, у небачено тислі строки, за умов страшної безпосередньої загрози своєму здоров'ю і життю, створювали систему військового зв'язку, приводили цивільний зв'язок до нових умов, знаходили нестандартні та ефективні рішення проблем, що виникали і були несподіваними, складними та непередбачуваними за наслідками.

**2.** Створена загальними зусиллями система зв'язку забезпечила:

- оперативне інформування вищого керівництва про масштаби аварії та результати робіт, з метою вжиття необхідних заходів і мобілізації відповідних матеріальних ресурсів;

- управління різними структурами та експрес-створеними групами фахівців щодо поточної розробки технологій і технічних рішень по ліквідації наслідків аварії;

- загальну координацію зусиль по створенню необхідних для виконання складних робіт технічних і технологічних засобів;

- виявлення найбільш важливих щодо впливу на техногенну ситуацію місць і термінову координацію зусиль по усуненню можливих негативних наслідків;

- керування силами і технічними засобами ліквідаторів аварії на ЧАЕС, їх структурними підрозділами, групами та бригадами, координацію їх діяльності;



- загальне тактичне та стратегічне управління процесами ліквідації наслідків техногенної катастрофи, узгодження і коректування з державними органами, науковими структурами прийнятих рішень;

- координацію зусиль по розробці прогнозів на майбутнє щодо АЕС, навколишнього середовища та населення;

- управління життєзабезпеченням ліквідаторів аварії;

- розв'язання проблем з населенням, яке було евакуйоване і яке залишилось у межах зони.

3. Більш загальний погляд на роль радіозв'язку, враховуючи і проблеми сьогодення, полягає у тому, що при виникненні техногенних чи природних катаклізмів, а також у процесі бойових дій зв'язок приходиться організувати за допомогою радіозасобів. Їх роль по координації зусиль, як показав досвід Чорнобиля, більш важлива, ніж раніше вважалось. Тому у штатних структурах військових частин доцільно передбачити більш широке використання портативних радіозасобів, різних за далькістю зв'язку і діапазоном частот, з можливістю виконувати функції комутатора, та з більш ефективними функціональними характеристиками, зокрема, із алгоритмом ППРЧ (псевдовипадковим перескакуванням частот).

Треба чітко усвідомлювати, що радіозасоби можуть бути виявлені, запеленговані противником, подавлені за допомогою систем РЕБ чи знищені, зокрема, за допомогою "дронів". Тому важливим фактором у системі радіозв'язку є радіомовчання, поки не виникне динамічна, мінлива ситуація, коли використання інших видів зв'язку проблематичне. Зазначимо, що кожна радіостанція, навіть однієї моделі, має специфічні технічні ознаки, які можуть бути виявлені противником, що дає змогу відслідковувати переміщення радіостанції; це стосується і потужності радіостанцій, яка дає змогу противнику відслідковувати ланки управління. При можливості, обмін вести на понижених потужностях, використовувати короткі засекречені повідомлення, щоб система перехоплення противника не змогла відслідковувати та аналізувати обмін. Маскування від відео, радіо та теплових спостережень, фактів переміщень повинно бути ефективним.

Не використовувати систему загального мобільного зв'язку, якщо це не єдина можливість зв'язку в екстремальних умовах, враховуючи, що вона прослуховується; з високою ймовірністю можна вважати, що система такого зв'язку під час бойових дій буде зруйнована (базові станції виведені із ладу);

Стандартний ремонт сучасної апаратури, як це було в чорнобильській зоні, практично неможливий із-за складності алгоритмів і мініатюризації електронних елементів. Здійснюється заміна несправних плат, для цього виконується внутрішній апаратний програмний моніторинг по їх виявленню. В апаратній повинен бути певний запас найбільш проблемних елементів. Якщо можливості по ремонту вичерпані, то, як ми вважаємо, доцільно мати в радіоапаратурі аварійний режим роботи, який

реалізується за допомогою мінімальної кількості елементів апаратури. Таким режимом може бути слуховий обмін з використанням коду Морзе. Відомо, що адаптаційні можливості людського вуха забезпечують високу завадостійкість обміну при дії сукупності завад (шумів), навіть при відношенні потужностей сигнал/шум = 1/1 (вимоги до радіотелеграфіста 1-го класу). Ні одна сучасна апаратура не може функціонувати в таких умовах. Для реалізації цього режиму необхідно використати датчик коду Морзе і вихідний каскад радіостанції в обхід всіх її інших елементів.

Вважаємо, що можлива початкова оперативна взаємодія апаратних зв'язку за допомогою модернізованої для такого випадку системи Wi-Fi, з наступним прокладанням, при можливості, кабельних ліній.

4. Ситуація в чорнобильській зоні на той період характеризувалась високою невизначеністю, невідомим станом того, що залишилось на місці блоку, як поведе себе утворене "місиво", як запобігти можливому продовженню техногенного удару. Зазначимо, що й тепер (2021 рік) під сучасним "ковпаком" тліє дещо мало вивчене та небезпечне. Вважаємо, що рішенням (і непростю проблемою) є розробка такої технології, що дозволила би розібрати його на безпечні складові.

5. Цілком очевидно, що поводитись з високоєфективними, але небезпечними із-за своєї фізичної суті, техногенними системами необхідно з адекватною до них науковою та технічною повагою і повним розумінням можливих катастрофічних наслідків, виявляти гарантовані шляхи, як їх запобігти. Ні політичні, ні корпоративні, ні особисті інтереси та амбіції не повинні вносити зміни чи створювати ситуації, які можуть внести погіршення у структуру та роботу таких систем. Необхідні гарантії щодо цього повинні бути жорстко відображені в законодавстві та інструкціях, мати вищу степінь невідворотної відповідальності. З часом виявилось, що стосовно ЧАЕС ці фрагменти людської діяльності не були дотримані. Зазначимо, що наші АЕС достатньо застарілі, зношені, хоча у певній мірі модернізовані, хочеться вірити, що метал та людська відповідальність виконують свою захисну місію.

Детальний стан того, що сталося, проаналізований авторитетними комісіями і висвітлювався у засобах масової інформації. Знову була підтверджена відома, перевірена практикою та історією теза, що замовчування та перекручення фактів веде до погіршення стану виявлення, оцінки та прийняття ефективних рішень відносно техногенних, природних чи біологічно створених проблем, а також тих проблем, які мають особливий негативний вплив на стан життя людей і є штучно створеними проблемами суспільних відносин та взаємовідносин між державами.

6. Відмітимо також, що з винайденням ядерної та термоядерної зброї, її випробування у повітрі, на землі і під землею, на воді і під водою мали як видимі, так, що важливо, і невидимі наслідки. Візуально видимі ефекти і ті, що фіксувалися приладами (світлове випромінювання, ударна хвиля,

радіоактивне випромінювання, електромагнітний імпульс, залишки радіоактивних речовин, наведена радіація), достатньо вивчені, але щодо віддалених наслідків від впливу цих ефектів на середовище та живі організми питання ще залишається відкритим, як і дія залишкової радіації після вибуху на ЧАЕС. Зазначені вибухи створюють динамічний удар на те середовище, в якому вони здійснені. Невідомо, яка частина атмосфери під час вибухів була викинута у космос, хоча навіть малі її втрати із-за різних причин небажані. З тривалим часом їх сукупна дія може негативно вплинути на стан атмосфери, привести до поступового її знищення, і планета може стати мертвою, як Марс. Дія вибухів на захисні шари атмосфери Землі теж мало вивчена.

Земна кора, в якій і на якій проводились вибухи, – це своєрідна мембрана між магмою та атмосферою. Удар по мембрані змушує її коливатись, передавати

імпульси удару в середовище, з яким вона контактує, тобто у магму, а далі – у ядро. Як ці імпульси і з якою швидкістю та тривалістю діють та взаємодіють далі, у середині Землі, що там утворюють? – невідомо. А це тисячі ударів різної потужності в різних точках Землі. Зміна координат магнітних полюсів, підвищення вулканічної активності, інтенсивності землетрусів – чи не є це відлунням запеклого земного протистояння двох світових систем?

Якщо земну кулю використовувати, як полігон збройного протистояння, хижачки знищувати її багатства, розбалансовувати взаємозв'язки у природі, які формувались мільйони років, то результати для людства можуть бути трагічними. Хочеться вірити, що прекрасна, унікальна у Всесвіті планета, можливо, єдина колиска життя, зуміє себе захистити і відновитись, але вже без присутності людства, якщо воно не схаменеться.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. <https://www.google.com/search?q=в+ч+06407&oq>. – 2021.
2. [http://www.an500.narod.ru/r\\_440\\_o/r440o/index.htm](http://www.an500.narod.ru/r_440_o/r440o/index.htm). – 2021.
3. <https://affinage.org.ua/apparatura-svyazi-p-244tn/>. – 2021.
4. <http://www.russianarms.ru/forum/index.php?topic=533.0>. – 2021.
5. [http://radiopribor.narod.ru/About\\_company/index.html](http://radiopribor.narod.ru/About_company/index.html). – 2021.
6. [www.russianarms.ru](http://www.russianarms.ru) > forum. – 2021.
7. [loveread.ec](http://loveread.ec) > read\_book. – 2021.
8. <https://www.google.com/search?q=П-238Т>; [www.russianarms.ru](http://www.russianarms.ru) > forum. – 2021.
9. <https://www.google.com/search?q=P-142>. – 2021.
10. <https://www.google.com/search?q=P-409>. – 2021.
11. [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org) > wiki > P-140. – 2021.
12. <https://www.google.com/search?q=P-404>. – 2021.
13. <https://www.google.com/search?q=76B157>; [www.russianarms.ru](http://www.russianarms.ru) > forum. – 2021.
14. <https://military.trcvr.ru/2015/12/12/radiostancija-r-410/>. – 2021.
15. [google.com/search?q=П-205](https://www.google.com/search?q=П-205). – 2021.
16. Беллами Джон. Цифровая телефония / Джон Беллами // Пер. с англ. – М.: Эко-Трендз, 2004. – 640 с.
17. Рихтер С.Г. Кодирование и передача речи в цифровых системах подвижной радиосвязи / С.Г. Рихтер. – М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 304 с.
18. Гитман Н.С. / Обеспечение управления ликвидации последствий: уроки Чернобыля / Н.С. Гитман, Л.Н. Сакович // Зв'язок. – 2004. – № 2. – С 68-69.
19. Грохольський Я.М. Забезпечення військового зв'язку в початковий період ліквідації аварії на Чорнобильській АЕС / Я.М. Грохольський, Л.М. Сакович // Зв'язок. – 2011. – № 1. – С 74-77.
20. Шнайер Брюс. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке СИ / Брюс Шнайер // Пер. с англ. – М.: Триумф, 2003. – 816 с.
21. Столлинс Вильям. Криптография и защита сетей. Принципы и практика. / Вильям Столлинс. – М.: Вильямс, 2001. – 672 с.
22. Алферов А.П. Основы криптографии / А.П. Алферов, А.Ю. Зубов, А.С. Кузьмин, А.В. Черемушкин. – М.: Гелиос АРВ, 2001. – 480 с.

Received (Надійшла) 01.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.04.2021

### Military communications in the initial period of liquidation the accident at the Chernobyl nuclear power plant

Lev Sakovych, Yaroslav Hrokholskyi, Heorhii Krykhovetskyi

**Abstract.** The article analyzes deployment process, dynamics of changes and features of the use of the military communications system in the 30-kilometer zone of the Chernobyl nuclear power plant in the period from 04/26/86 to 12/05/86. The material is based on documents and orders of the USSR Ministry of Defenses operational group, statistical data that were submitted daily from communication elements, and the analysis by the authors of the records in communication department of the management instructions and results of their implementation on operational changes in the communication structure within a 30-kilometer zone, a special zone and regarding interaction with external structures outside the 30-kilometer zone during the specified period of liquidation of the Chernobyl accident. In the lines and figures of this article, the work of tens of thousands of our citizens, civilians and soldiers, sergeants, ensigns, officers and women is enormous in scope and unlimited in responsibility. They posed a medium threat to their health and life, created a system of military communication, brought civil communication to new conditions, and found non-standard and effective solutions to the problems that were to blame. and were unexpected, complex and unpredictable in consequences.

**Keywords:** Chernobyl, accident elimination; military communications; operational group; orders.

Д. В. Дорошенко

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна.

## МЕТОДИКА ВИЯВЛЕННЯ НЕСАНКЦІОНОВАНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Анотація.** У статті запропоновано методику виявлення несанкціонованих обчислювальних процесів інформаційно-телекомунікаційних систем. Існуючі технології виявлення АРТ атак засновані на процедурах багаторівневого аналізу великого масиву даних про різноманітні поточні події в ІТС. Ці дані збираються в електронних журналах подій. Очевидно, що модель АРТ атаки повинна дозволити пов'язувати події за часом і в просторі. Комплекси програм, які наповнюють інформацією журнали і реалізують автоматизовані технології їх аналізу, відомі як системи SIEM. У свою чергу, технології автоматизованого аналізу подій засновані на моделях атак. Шаблон АРТ атаки – це набір взаємопов'язаних подій. Порівняння такого шаблону і поточних подій становить суть процесу оцінки в рамках SIEM. Основним завданням методики є автоматизація процесу виявлення несанкціонованих дій, прийняття рішення про наявність АРТ атаки, та реалізацію методів захисту від неї. Основу АРТ атаки становить комплекс дій, що реалізуються в різних компонентах ІТС на тривалому відрізку часу. З позицій політики безпеки такі події окремо можуть нести легальний характер. Розглянуто програмні та апаратні засоби, призначені для прихованого спостереження за діяльністю користувачів інформаційно-телекомунікаційних систем. Санкціоновані моніторингові програмні продукти використовуються адміністраторами безпеки інформаційно-телекомунікаційних систем для забезпечення моніторингу. Детально розглянуто застосування для прихованого моніторингу активних процесів інформаційно-телекомунікаційних систем. Запропоновано використати в якості прикладу несанкціонованого обчислювального процесу програмні та апаратні кейлоггери. Детально описано методи захисту від них. Отримані результати доцільно направити на удосконалення методів виявлення несанкціонованих обчислювальних процесів інформаційно-телекомунікаційних систем.

**Ключові слова:** АРТ атака; SIEM; кейлоггер; інформаційно-телекомунікаційна система.

### Вступ

При стрімкому розвитку мережевих технологій та глобальній інформатизації суспільства на перший план висуваються проблеми забезпечення високого рівня захищеності інформаційно-телекомунікаційних систем. Зі збільшенням числа комп'ютерних інцидентів, пов'язаних із безпекою, світ переконався, що навіть найнадійніші системи захисту не здатні захистити від складних кібератак на ІТС державних і комерційних установ. Тому розробка систем виявлення та протидії атак є одним із найбільш актуальних напрямків наукових досліджень в області інформаційної безпеки. В процесі такої розробки необхідно постійно проводити наукові дослідження, що вивчають та детально аналізують можливі варіанти реалізації складних атак.

**Постановка завдання.** Застосування АРТ значно ускладнило ситуацію обробки даних SIEM. Основу АРТ атаки становить комплекс дій, що реалізуються в різних компонентах ІТС на тривалому відрізку часу. З позицій політики безпеки такі події окремо можуть нести легальний характер.

Програмні та апаратні засоби, призначені для прихованого спостереження за діяльністю користувачів інформаційно-комунікаційних систем та персональних комп'ютерів, отримали широке застосування останнім часом.

Санкціоновані моніторингові програмні продукти використовуються адміністраторами безпеки інформаційно-комунікаційних систем для забезпечення її спостережливості – "властивості обчислювальної системи, що дозволяє фіксувати діяльність користувачів і процесів, використання пасивних об'єктів, а також однозначно встановлювати ідентифікатори

причетних до певних подій користувачів та процесів з метою запобігання порушенню політик інформаційної безпеки і/або забезпечення відповідальності за певні дії" [1]. Саме ця властивість в залежності від якості її реалізації дозволяє в тій чи іншій мірі контролювати дотримання встановлених правил роботи на комп'ютерах та політики інформаційної безпеки.

Особливу небезпеку становлять моніторингові програмні продукти та апаратні засоби, які приховано, несанкціоновано (як правило, дистанційно) встановлені без відома адміністраторів безпеки автоматизованої системи або без відома користувачів. Вказана категорія моніторингових продуктів далі в статті іменуватиметься як "програми-шпигуни" або шпигунське програмне забезпечення. Очевидно, що модель АРТ атаки повинна дозволити пов'язувати ці події за часом і в просторі. Основним завданням методики є автоматизація процесу виявлення несанкціонованих дій, прийняття рішення про наявність атаки, та реалізацію методів захисту від неї.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Існуючі технології виявлення АРТ атак засновані на процедурах багаторівневого аналізу великого масиву даних про різноманітні поточні події в ІТС. Ці дані збираються в електронних журналах подій. Комплекси програм, які наповнюють інформацією журнали і реалізують автоматизовані технології їх аналізу, відомі як системи SIEM.

В роботі [6] розглянуті моделі АРТ-атак та методів їх застосування. Моделі використовують різну математичну базу, але більшість з них засновані на кінцевих автоматах та представляють атаку як послідовність станів автомата. Жодна з моделей не дозволяє врахувати в комплексі вразливості, що активізуються атакою, методи її реалізації та можливі

наслідки. Тобто, питання розробки якісної моделі інформаційної атаки залишається невирішеним.

**Мета статті** – розроблення методики виявлення несанкціонованих обчислювальних процесів інформаційно-телекомунікаційних систем, яка дозволить автоматизувати процес виявлення несанкціонованих дій, прийняття рішення про атаку, та реалізацію методів захисту від неї.

### Основна частина

APT атака (advanced persistent threat) (Розвинена стала загроза) – різновид складних кібератак з метою встановлення несанкціонованого доступу до інформаційних систем жертви для їх використання або контролю в майбутньому. Як правило, APT атака відбувається у декілька етапів, а саме:

1. Зовнішня розвідка. Здійснюється збір інформації про характеристики ІТС з різноманітних зовнішніх джерел.

2. Проникнення в ІТС. На основі інформації зовнішньої розвідки приймається рішення про засоби і способи запуску процесів на одному з вузлів ІТС. Зловмисник здійснює реалізацію прийнятого рішення шляхом направлення через Інтернет необхідних даних для запуску процесу встановлення прихованого каналу віддаленого управління вузлом ІТС.

3. Доставка засобів впливу. На цьому етапі зловмисник запускає процес доставки програмних засобів для здійснення внутрішньої розвідки в межах цільової ІТС.

4. Внутрішня розвідка. Зловмисник запускає штатні та нештатні процеси для збору даних про структуру ІТС. Після аналізу отриманих даних реалізується рішення про просування між вузлами ІТС до моменту виявлення цільового ресурсу ІТС.

5. Цільова акція. На основі отриманих даних про знаходження критичного ресурсу зловмисник приймає рішення про спосіб реалізації цільового впливу та засоби для цього. За допомогою прихованого каналу управління вузлом ІТС доставляються за запускаються необхідні процеси здійснення цільової атаки.

6. Приховування слідів. На цьому етапі стираються дані, які були пов'язані з кібератакою.

Після виявлення несанкціонованих дій SIEM вимагає від оператора прийняти рішення про наявність атаки, та запустити засоби протидії. Схема застосування SIEM з активним оператором зображена на рис. 1. У свою чергу, технології автоматизованого аналізу подій засновані на моделях атак. Шаблон APT атаки – це набір взаємопов'язаних подій. Порівняння такого шаблону і поточних подій становить суть процесу оцінки в рамках SIEM. Схему застосування SIEM з використанням шаблону APT атаки зображено на рис. 2.

Як приклад несанкціонованих обчислювальних процесів пропонується розглянути кейлогери.

Між продуктами для забезпечення моніторингу і “продуктами-шпигунами” дуже тонка грань – це грань між управлінням інформаційною безпекою та порушенням інформаційної безпеки. При цьому наявність в програмі таких функцій, як можливість

початкової конфігурації модулю моніторингу та отримання виконаного файлу, який при виконанні не виводить повідомлень на екрані, вбудованих засобів доставки та дистанційного встановлення скопійованого модулю на комп'ютер користувача, сприяють процесу перетворення продукту для моніторингу в “продукт-шпигун”. Навпаки, виконання програмою наступних функцій: можливість інсталяції та конфігурації модулю моніторингу тільки при безпосередньому фізичному доступі до комп'ютера користувача, обов'язкова наявність прав адміністратора для інсталяції та конфігурації програми – найчастіше робить продукт малоприслужним для шпигунських цілей та несанкціонованого застосування.

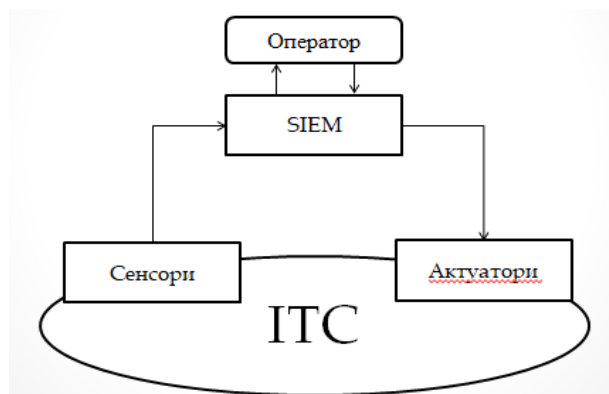


Рис. 1. Схема застосування SIEM з активним оператором

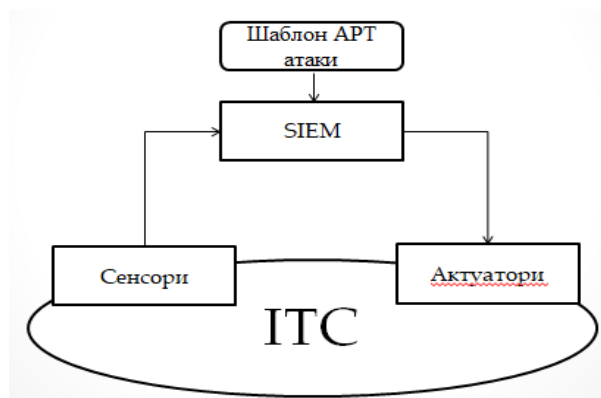


Рис. 2. Схема застосування SIEM з використанням шаблону APT атаки

Застосування програмного забезпечення для моніторингу дозволяє адміністратору безпеки:

- визначати (локалізувати) всі випадки спроб несанкціонованого доступу до конфіденційної інформації з точним зазначенням часу та місця, з якого така спроба здійснювалася;
- виявляти факти несанкціонованого встановлення програмного забезпечення;
- контролювати використання комп'ютерів в неробочий час та виявляти мету їх використання;
- визначати всі випадки несанкціонованого використання модемів в локальній мережі шляхом аналізу фактів запуску несанкціоновано встановлених додатків;
- отримувати достовірну інформацію, на підставі якої буде модифікуватися політика інформаційної безпеки;

- контролювати доступ до серверів та персональних комп'ютерів;
  - проводити аудит інформаційної безпеки;
  - досліджувати комп'ютерні інциденти.
- Застосування "програм-шпигунів" дозволяє зловмисникові:
- перехоплювати інформацію;
  - здійснювати шпигунство;
  - отримувати доступ до систем криптографії – відкритих і закритих ключів, паролів.

"Продукти-шпигуни" являють собою серйозну загрозу захисту інформаційно-комунікаційних систем.

Одна з найбільш небезпечних особливостей всіх "програм-шпигунів" і апаратних пристроїв – кейлоггерів – реєстрація натискань клавіш користувачем з метою контролю його активності. Коли користувач набирає на клавіатурі пароль, кейлоггер записує кожне натискання клавіш. Крім цього, сучасні "програми-шпигуни" дозволяють захоплювати текст з вікон додатків і робити скріншоти екрану чи окремих вікон. Іншими словами, "програма-шпигун" може перехопити текст з документа, навіть якщо користувач його не набрав з клавіатури, а просто відкрив та переглянув файл.

Програмні кейлоггери (keyloggers) належать до тієї групи програмних продуктів, які здійснюють контроль за діяльністю користувача ПК.

Спочатку програмні продукти цього типу призначалися виключно для запису інформації про натискання клавіш клавіатури, в тому числі і системних, в спеціалізований журнал реєстрації (Log-файл), який згодом вивчався користувачем, що встановив цю програму. Log-файл може відправлятися по мережі на мережевий диск, ftp сервер, на Email тощо. Останнім часом програмні кейлоггери виконують багато додаткових функцій – перехоплення інформації з вікон, перехоплення кліків миші, "фотографування" знімків екрану, ведення обліку всіх отриманих та відправлених Email, моніторинг файлової активності, моніторинг системного реєстру, перехоплення звуку з мікрофона і відеозображення з веб-камери, тощо.

Кейлоггери можуть бути вбудовані в комерційні, безкоштовні і умовно-безкоштовні програми, троянські програми, віруси і хробаки. При цьому нерідко для поширення хробаків використовується широко відома вразливість IFrame браузера Microsoft Internet Explorer, яка дозволяє запускати довільний код на комп'ютері користувача при простому перегляді HTML документа в браузері або поштовому клієнті Outlook.

Апаратні кейлоггери (hardware keylogger) являють собою мініатюрні пристрої, що можуть бути прикріплені між клавіатурою і комп'ютером або вбудовані в саму клавіатуру. Вони реєструють всі натиснення клавіш на клавіатурі. Апаратні кейлоггери не вимагають установки будь-якої програми на комп'ютері об'єкта, щоб успішно перехоплювати всі натискання клавіш. Такий пристрій може бути таємно прикріплений до ПК об'єкта ким завгодно – колегою, прибиральницею, відвідувачем тощо. Коли апаратний кейлоггер прикріплюється, зовсім не має

значення, в якому стані знаходиться комп'ютер – увімкненому або вимкненому.

Зловмисник може зняти пристрій в будь-який зручний момент, а його вміст скачати, коли йому буде зручно. Обсяги внутрішньої незалежної пам'яті даних пристроїв дозволяють записувати до 10 мільйонів натискань клавіш. Дані пристрої можуть бути виконані в будь-якому вигляді, так що навіть фахівець не в змозі іноді визначити їх наявність при проведенні аудиту.

Апаратні кейлоггери поділяються на зовнішні та внутрішні, їх відмінні риси описані нижче.

Зовнішні апаратні кейлоггери підключаються між звичайною клавіатурою ПК і комп'ютером і реєструють кожне натискання клавіш. Для роботи їм не потрібні батареї, встановлені програми, вони можуть працювати на будь-якому ПК. Зловмисник може підключити їх до одного комп'ютера, щоб записати інформацію, а потім, при необхідності, підключити до іншого, щоб відтворити її.

Найскладніше виявити (та знешкодити) внутрішній апаратний кейлоггер, у якого апаратний модуль перехоплення натискань клавіш вбудований в корпус клавіатури.

Для виявлення і видалення моніторингових програмних продуктів, які можуть бути встановлені без відома користувача ПК, в даний час використовуються програми різних типів, які забезпечують більш-менш ефективний захист виключно тільки проти відомих "програм-шпигунів" за допомогою сигнатурного аналізу. Для ефективної роботи програм даного типу необхідно отримати код "програми-шпигуна", виділити з неї сигнатуру і включити дану сигнатуру в свою базу. При оновленні сигнатурної бази користувачі отримують можливість боротися з даним варіантом "програми-шпигуна". За таким принципом працюють багато антивірусних програм.

Але є й інша група програм-шпигунів, яка найбільш небезпечна для будь-яких автоматизованих систем – це невідомі "програми-шпигуни". Вони підрозділяються на п'яти типів.

1. "Програми-шпигуни", що розробляються під егідою урядових організацій.
2. "Програми-шпигуни", які можуть створюватися розробниками різних операційних систем і включатися ними до складу ядра операційної системи.
3. "Програми-шпигуни", які розроблені для вирішення конкретного завдання, пов'язаного з викраденням критичної інформації з цільового комп'ютера.
4. Корпоративні програмні продукти, які дуже рідко вносяться в сигнатурні бази.
5. "Програми-шпигуни", що представляють собою keylogging модулі, що включаються до складу програм-вірусів. До внесення сигнатурних даних в вірусну базу дані модулі є невідомими.

Інформація про "програми-шпигуни" першого і третього типу, як правило ніде не опубліковується, і, відповідно, їх код не може бути внесений в сигнатурні бази, тому вони не можуть виявлятися ніякими програмними продуктами, які використовують сигнатурний аналіз.

Інформація про програми-шпигуни другого типу ніде не опублікується, даний код працює на рівні ядра операційної системи і, відповідно, вони не можуть виявлятися ніякими додатками.

Інформація про “програми-шпигуни” четвертого типу вноситься в сигнатурні бази дуже рідко. Але навіть якщо додати такі програми в сигнатурні бази, то деактивувати, а, тим більше, видалити їх часто неможливо без руйнування операційної системи. Вони не мають своїх процесів, а маскуються у вигляді потоків у системні процеси, можуть працювати тільки з оперативною пам'яттю комп'ютера і не працювати з жорстким диском, вони мають режими контролю цілісності і самовідновлення після збоїв.

Інформація про “програми-шпигуни” п'ятого типу вноситься в сигнатурні бази через кілька годин або днів після початку відповідної вірусної атаки. За цей час конфіденційна інформація користувача персонального комп'ютера вже може бути вкрадена і відіслана в мережу Інтернет на задалегідь підготовлену зловмисником адресу.

Ніякі програмні продукти не в змозі визначити наявність встановлених апаратних пристроїв, які забезпечують перехоплення натискань клавіатури користувачем ПК.

Сьогодні існує тільки два методи протидії апаратним кейлоггерам при роботі на ПК: фізичний пошук та усунення кейлоггера; використання віртуальних клавіатур для введення особливо важливої інформації (паролі, коди доступу, PIN коди, тощо).

### Висновки

У статті запропоновано методику виявлення несанкціонованих обчислювальних процесів інформаційно-телекомунікаційних систем. В якості тестування методики використано програмні та апаратні кейлоггери. Проблема перехоплення інформації за допомогою кейлоггерів стоїть досить гостро. У світі існують сотні подібних програм, які можуть бути несанкціоновано встановлені без відома користувача чи адміністратора ПК. Отже, застосування комплексного підходу, який дозволить відрізнити санкціоновані засоби моніторингу від шкідливого ПЗ, дозволить захистити інформаційно-телекомунікаційні системи від використання кейлоггерів, що дозволить зменшити негативні наслідки від АРТ атак.

Подальші дослідження доцільно направити на удосконалення методів виявлення несанкціонованих обчислювальних процесів інформаційно-телекомунікаційних систем.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. НД ТЗІ 1.1-003-99. Термінологія в галузі захисту інформації в комп'ютерних системах від несанкціонованого доступу. // Департамент спеціальних телекомунікаційних системі захисту інформації Служби безпеки України. Київ, 1999/
2. “2001 AMA Survey: Workplace Monitoring & Surveillance: Summary of Key Findings” American Management Association. [http://www.amanet.org/research/pdfs/ems\\_short2001.pdf](http://www.amanet.org/research/pdfs/ems_short2001.pdf)
3. “Computer And Internet Surveillance in the Workplace: Rough Notes”. Andrew Schulman, Chief Researcher, Privacy Foundation, US, 2001-2002 <http://www.sonic.net/~undoc/survtech.htm>
4. “The Extent of Systematic Monitoring of Employee E-mail and Internet Use” Andrew Schulman, Chief Researcher, Privacy Foundation, US, 2001-2002. <http://www.sonic.net/~undoc/extent.htm>
5. Н.Д. Красноступ, Д.В. Кудин. Шпионские программы и новейшие методы защиты от них. <http://bozza.ru/art-75/html>.
6. Яковів І.Б., Дорошенко Д.В. Аналіз моделей АРТ-атак та методів їх застосування. Безпека інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах: матеріали ХХ МНПК, 22-24 травня 2018 р. Київ, 2018. С. 74-75.
7. Яковів І.Б., “Кібернетична модель АРТ атаки”, *Information Technology and Security*, vol. 6, iss. 1, pp. 46-58, 2018.
8. Дорошенко Д.В. Методика визначення та реєстрації актуальних обчислювальних процесів персонального комп'ютера на базі ОС Windows. Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології та кібербезпека: нові виклики, нові завдання: матеріали НПК, 19-20 листопада 2019 р. : тези доповіді. Київ, 2019. С. 58-59
9. Яковів І.Б.. Базова модель інформаційних процесів та поведінки системи кіберзахисту. *Information Technology and Security*. 2019. Vol. 7, Iss. 2 (13). P. 183–196.

Received (Надійшла) 18.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.05.2021

### The methods of detection unauthorized computer processes of information and telecommunication systems

Denys Doroshenko

**Abstract.** The article proposes a method for detecting unauthorized computational processes of information and telecommunication systems. Existing APT attack detection technologies are based on multi-level analysis procedures for a large array of data on various current events in ITS. This data is collected in electronic event logs. Obviously, the APT attack model should be able to link events in time and space. Complexes of programs that fill journals with information and implement automated technologies for their analysis are known as SIEM systems. In turn, automated event analysis technologies are based on attack models. An APT attack pattern is a set of interrelated events. Comparison of such a template and current events is the essence of the evaluation process within SIEM. The main task of the methodology is to automate the process of detecting unauthorized actions, deciding on the presence of an APT attack, and implementing methods of protection against it. The basis of the APT attack is a set of actions that are implemented in various components of ITS over a long period of time. From the standpoint of security policy, such events may be legal in nature. Software and hardware designed for covert surveillance of users of information and telecommunications systems are considered. Authorized monitoring software products are used by security administrators of information and telecommunication systems to ensure monitoring. The application for covert monitoring of active processes of information and telecommunication systems is considered in detail. It is proposed to use software and hardware keyloggers as an example of an unauthorized computational process. Methods of protection against them are described in detail. The obtained results should be used to improve methods for detecting unauthorized computing processes of information and telecommunications systems.

**Keywords:** APT; SIEM; key logger; information and telecommunication system.



О. В. Зінченко<sup>1</sup>, В. В. Вишнівський<sup>1</sup>, В. М. Гладких<sup>2</sup>, С. В. Прокопов<sup>1</sup>, О. С. Звенігородський<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державний університет телекомунікацій

<sup>2</sup>Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

## АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ SDN / NFV

**Анотація.** Традиційні телекомунікаційні мережі проектувалися в розрахунку на використання спеціалізованих апаратних пристроїв (маршрутизаторів, Ethernet-комутаторів та ін.). Ці пристрої створювалися на базі специфічних апаратних і програмних платформ окремих вендорів. Розгортання таких мережевих пристроїв призводило до тривалих циклів проектних і пусконаладжувальних робіт, а, отже, і до уповільнення виведення на ринок нових продуктів і послуг. Обслуговування та управління мереж такого типу було і залишається досить неефективним і дорогим. Спільне використання SDN та NFV змінює традиційну парадигму будівництва мережі, яка полягає в тому, як оператор проектує, розвиває, адмініструє мережу, і надає продукти і послуги користувачам. Така зміна парадигми може дати багато технологічних і операційних переваг. Зрушення парадигми націлене на фундаментальне переосмислення структури витрат оператора і режиму його операційних процесів. Цей зсув, при його відповідному використанні, також здатний забезпечити швидку і гнучку розробку послуг на вимогу, що підвищує конкурентоспроможність оператора на ринку телекомунікаційних і інформаційних послуг. В статті наводиться аналіз переваг впровадження сучасних технологій віртуалізації мережевих функцій. Об'єднання SDN з NFV надає великі переваги, однак проблема полягає в їх інтеграції. В цілому стаття присвячена дослідженню способів інтеграції віртуалізованих мережевих функцій та контролера SDN. Для такої інтеграції є дві можливі архітектури: контролер SDN взаємодіє з віртуалізованими мережевими функціями (VNF) або комутатор взаємодіє з VNF. У цій статті наведено аналітичний опис обох варіантів. Таким чином, стаття спрямована на створення математичної моделі для аналітичного моделювання SDN з NFV та в кінцевому підсумку підвищенню продуктивності та прискоренню впровадження сучасних мережевих технологій.

**Ключові слова:** віртуалізація мережевих функцій; SDN; системи масового обслуговування; OpenFlow.

### Вступ

Традиційно мережа будується на виділеному обладнанні, такому як маршрутизатори і комутатори, з мережевим програмним забезпеченням, що надається постачальниками мережі. Можливості інженера по налаштуванню мережевого програмного забезпечення дуже обмежені в основному створювачем обладнання. Це призвело до створення концепції програмно-конфігурованої мережі (SDN), в якій гнучкість і динамізм були внесені у віртуалізовану площину управління. Основний підхід при створенні SDN полягає в поділі мережі на площину управління і площину даних, що дозволяє централізовано керувати різними мережевими пристроями. Основна перевага концепції SDN - можливість програмування управління мережевими пристроями. Це дозволило мережевим інженерам змінити конфігурацію мережі і логіку потоку даних відповідно до бізнес-вимог.

З іншого боку, віртуалізація мережевих функцій (NFV) - це новий підхід, який розгортає або проектує різні мережеві функції. Він відокремлює мережеві функції, такі як NAT, кешування DNS та ін. від пропріетарних апаратних пристроїв, щоб їх можна було реалізувати на віртуальних машинах, покращуючи якість їх обслуговування.

Є велика кількість робіт [3-10] з моделювання SDN. Жодна з них не враховує NFV в своєму аналітичному моделюванні.

В двох відомих роботах [1, 2] досліджувалась продуктивність архітектури SDN/NFV за допомогою моделювання та експериментів. Однак в цих роботах не представлено аналітичної моделі для архітектури SDN, що поєднується з NFV.

Традиційні телекомунікаційні мережі проектувалися з розрахунку на використання спеціалізованих апаратних пристроїв (маршрутизаторів, Ethernet-комутаторів та іншого обладнання). Ці пристрої створювалися на базі специфічних апаратних і програмних платформ окремих вендорів. Розгортання цих мережевих елементів призводило до тривалих циклів проектування і пуско-налагоджувальних робіт, а, отже, і до уповільнення виведення на ринок нових продуктів і послуг. Обслуговування та управління такою мережею було досить неефективним і дорогим. Все це призводило до того, що зростання інвестицій в розвиток мережі для задоволення запитів абонентів перевищувало зростання доходів від надання послуг в ній. Тому, в даний час багато операторів вибирають шлях цифрової трансформації на базі технологій SDN / NFV.

Основні властивості мережі, побудованої за принципами SDN / NFV:

- поділ площин управління і передачі даних;
- віртуалізація мережевих функцій;
- програмоване управління мережевими ресурсами, обчислювальними ресурсами, і ресурсами зберігання даних, а також оркестрації послуг;
- стандартизація протоколів і автоматизація конфігурації мережевих елементів;
- єдиний механізм адміністрування і виділення ресурсів мережі за запитом для різних послуг і функцій;
- автоматизація управління, розгортання мережевих елементів і бізнес-процесів.

Комплексне використання цих нових властивостей дозволяє реалізувати динамічне підстроювання мережі під потреби додатків, що підвищує операційну гнучкість і спрощує розгортання послуг.



Існують різні підходи до об'єднання SDN з NFV. Оскільки контролер визначає, який екземпляр віртуалізованої мережевої функції (VNF) обслуговує пакети, яким потрібні мережеві функції (для стислості, пакети NFV), пакети NFV можуть бути перенаправлені на контролер з комутатора. Потім контролер пересилає ці пакети NFV в відповідну VNF для виконання необхідних мережевих функцій. Тобто пакети NFV будуть проходити через контролер. Цей підхід будемо називати SDN з NFV під контролером (NFV\_варіант1).

Інший підхід полягає в тому, що деякі з пакетів NFV відправляються з контролера, контролер визначає, який екземпляр VNF обслуговуватиме ці пакети, і запускає відповідні дії для комутатора. Наступні пакети NFV, що належать одному і тому ж потоку, можуть бути безпосередньо перенаправлені в певний екземпляр VNF без контролера. Надалі будемо називати цей підхід SDN з NFV поза контролера (NFV\_варіант2).

Основна мета даної роботи - провести аналітичне моделювання різних архітектур SDN / NFV.

### Основна частина

Проведемо аналіз двох архітектур SDN, в яких NFV знаходиться під контролером або в стороні від нього, а також розглядаються поточні роботи по моделюванню SDN.

В архітектурі NFV\_варіант1, яка приведена на рис. 1, а, контролер безпосередньо взаємодіє з VNF.

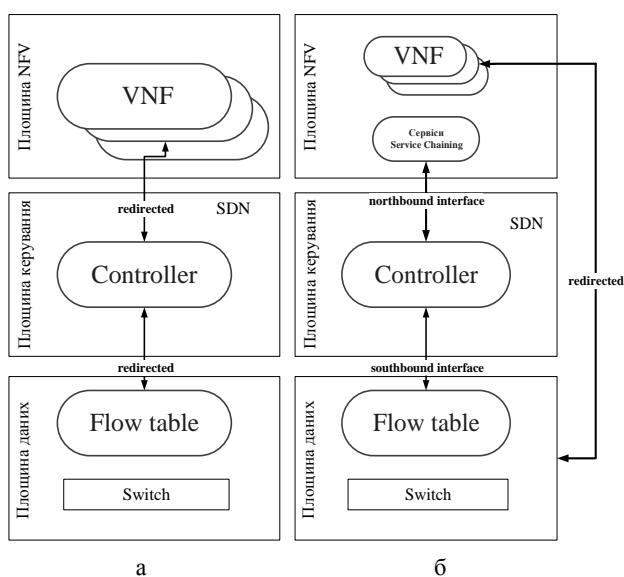


Рис. 1. Архітектура SDN: а – традиційна, де NFV знаходиться під управлінням контролера (NFV\_варіант1); б – NFV знаходиться в стороні від контролера (NFV\_варіант2)

Загальна процедура виглядає наступним чином. Спочатку пакет NFV потрапляє в комутатор. Потім, в залежності від дії в таблиці потоків, пакет NFV пересилається до контролера. Контролер визначить, який екземпляр VNF обслуговує його, і направить його до заданого екземпляру. Після того, як пакет NFV буде оброблений необхідною мережевою функцією, він повертається до контролера, і контролер

відправляє його назад до комутатора. Оскільки дія в таблиці потоків перенаправляється на контролер, всі пакети NFV, що належать одному потоку, будуть відправлені на контролер.

Основна перевага цієї архітектури полягає в тому, що пакети NFV можуть бути відправлені в різні екземпляри VNF для балансування навантаження. В архітектурі (NFV\_варіант2), показаної на рис. 1, б [2], комутатор безпосередньо взаємодіє з VNF. В системі існує модуль ланцюжка сервісів, який вибирає схожі екземпляри VNF і визначає порядок ланцюжка. Модуль ланцюжка сервісів зв'язується з контролером через північні інтерфейси (northbound interface). У цій архітектурі контролер відповідає за витяг мережевих подій, збір статистики і аналіз корисного навантаження для вибору відповідних екземплярів VNF і їх ланцюжка для екземпляра NFV. Після отримання відповіді від модуля об'єднання сервісів контролер встановлює відповідну дію в комутаторі і відправляє пакет NFV назад до комутатора. Цей пакет, як і раніше повинен перейти в VNF від комутатора, щоб отримати необхідну мережеву функцію. Наступні пакети NFV, що належать одному і тому ж потоку, можуть бути безпосередньо перенаправлені від комутатора до певних екземплярів VNF без контролера.

Основна перевага цієї архітектури полягає в тому, що більшість пакетів NFV можливо пересилати безпосередньо в VNF, що значно знижує навантаження на контролер.

Однак більшість пакетів NFV, що належать до одного потоку, будуть перенаправлені в один і той же екземпляр. Таким чином, екземпляри VNF будуть збалансовані по навантаженню, що призводить до більш високої тимчасової затримки в наданні мережевих функцій.

**Роботи з моделювання SDN.** Відомо кілька робіт з аналітичного моделювання SDN. Наведемо короткий огляд цих робіт. В роботі [3] моделювання SDN було виконано з використанням теорії масового обслуговування зі зворотним зв'язком. Ця теорія використовується для демонстрації взаємодії між площиною управління і площиною даних.

В роботі [4] було розроблено аналітичну модель мережі SDN. У цій роботі були розроблені обмеження розміру буфера і затримки пакетів.

В роботі [5] представлені поліпшення в порівнянні з [3] шляхом моделювання SDN, як модифікованої мережі Джексона. Автори оцінили швидкість передачі пакетів від контролера до комутатора, так що фактично можна було отримати загальну швидкість надходження пакетів в комутатор. Автори розширили свою попередню роботу і запропонували аналітичну модель для SDN з декількома комутаторами [6]. У цій моделі вони вираховували середню затримку шляху від джерела до пункту призначення, а не середню затримку пакета в комутаторі.

Автори роботи [9] вважають, що комутатори мають дві черги: чергу з високим пріоритетом для пакетів, відправлених назад від контролера, і черга з низьким пріоритетом для нових пакетів, що надходять від інших комутаторів. Отже, пакети, які пове-

ртаються контролером, мають більш високий пріоритет для доставки, щоб зменшити їх затримку. Для подання цієї системи було створено тривимірний стан (довжина черги контролера, довжина черги з високим пріоритетом і довжина черги з низьким пріоритетом). Автори вивели ймовірності переходу між станами і спробували знизити складність отримання ймовірності сталого стану.

Однак жодна з відомих робіт не розглядала в своїх моделях одночасно SDN та NFV.

**Моделювання систем NFV.** При моделюванні різних архітектур систем SDN з NFV, були прийняті наступні допущення:

- процес надходження даних в комутатор є пуассонавським процесом;
- передбачається, що час обслуговування пакетів в мережевих пристроях описується експоненціальним розподілом;
- черги нескінченні.

Розглянемо архітектуру, яку ми позначили як NFV\_варіант1.

При такому варіанті побудови SDN / NFV на комутатор надходять два типи пакетів NFV. Це нові пакети, швидкість надходження яких дорівнює  $\lambda_0$  та пакети, які повертаються на комутатор з контролера (рис.1). Швидкість надходження пакетів другого типу можна обчислити таким чином: оскільки передбачається, що ймовірність появи пакетів, які потребують мережевих функцій, дорівнює  $P_{nfv}$  швидкість надходження пакетів NFV буде дорівнювати  $P_{nfv}\lambda_0$  - це впливає з припущення, що ймовірність появи пакетів, які потребують мережевих функцій, дорівнює  $P_{nfv}$ .

Позначимо ймовірність перенаправлення пакету на контролер з комутатора, як  $P_c$  тоді швидкість пакетів, відправлених контролера від комутатора через пропуску таблиці, дорівнює  $P_c\lambda_0$ . Однак ці два потоки можуть перекивати один одного, тому що деякі пакети NFV можуть надходити поза таблиці. Таким чином, для коректності аналітичної моделі, необхідно відняти ймовірність їх перетину.

Отже, загальна швидкість надходження пакетів, що відправляється від комутатора до контролера, дорівнює

$$(P_c + P_{nfv} - P_c * P_{nfv}) \lambda_0.$$

Ця швидкість є швидкістю, надходження пакетів від контролера до комутатора, при цьому передбачається, що буфер контролера не обмежений.

Таким чином, загальна швидкість пакетів, що надходять до комутатора, визначається як:

$$\Lambda_s^{\text{варіант1}} = \lambda_0 + (P_c + P_{nfv} - P_c * P_{nfv})\lambda_0 = (1 + P_c + P_{nfv} - P_c * P_{nfv}) \lambda_0. \quad (1)$$

Оскільки комутатор представляє собою чергу M / M / 1, середню затримку пакета на комутаторі при NFV\_варіант1 можна отримати, використовуючи  $\Lambda_s^{\text{варіант1}}$  і швидкість обслуговування  $\mu_s$ .

Таким чином, середня затримка на комутаторі в першому варіанті дорівнює:

$$t_s^{\text{варіант1}} =$$

$$= \frac{1}{\mu_s - (1 + P_c + P_{nfv} - P_c * P_{nfv}) \lambda_0} \quad (2)$$

Так, як певна частина пакетів, що надходять від контролера, потрапить в модуль VNF, загальна швидкість потоку в VNF дорівнює:

$$\Lambda_f^{\text{варіант1}} = P_{nfv}\lambda_0 \quad (3)$$

Отже, затримка пакета в VNF може бути виражена як:

$$t_f^{\text{варіант1}} = 1/(\mu_f - P_{nfv}\lambda_0), \quad (4)$$

де  $\mu_f$  - швидкість обслуговування в VNF.

Для контролера надходження пакетів відбувається двома способами: певна кількість пакетів потрапляють в контролер з комутатора, так само в чергу контролера потрапляють всі пакети, які залишаються VNF.

Перший випадок аналітично можна описати, як  $(1 + P_c + P_{nfv} - P_c * P_{nfv})\lambda_0$ , другий як  $P_{nfv}\lambda_0$ . Об'єднуючи два випадки, загальну швидкість на контролері можна записати таким чином:

$$\Lambda_c^{\text{варіант1}} = P_{nfv}\lambda_0 + (P_c + P_{nfv} - P_c * P_{nfv})\lambda_0 = (1 + P_c + P_{nfv} - P_c * P_{nfv}) \lambda_0. \quad (5)$$

Як вже зазначалося - контролер має чергу M / M / 1, тому затримку пакета на контролері можна обчислити за формулою:

$$t_c^{\text{варіант1}} = \frac{1}{\mu_c - (2P_{nfv} + P_c + P_{nfv} - P_c * P_{nfv}) \lambda_0}, \quad (6)$$

де  $\mu_c$  - швидкість обслуговування на контролері

Виходячи з варіанту архітектури, що розглядається, кожен пакет NFV повинен відвідати чергу комутатора і контролера двічі, а чергу модуля VNF один раз. Таким чином, можливо обчислити середню затримку для пакетів NFV, використовуючи вирази (2), (4) і (6).

Визначимо аналітично середню затримку для пакетів NFV:

$$t_{\text{загальна}}^{\text{варіант1}} = t_f^{\text{варіант1}} + 2t_c^{\text{варіант1}} + 2t_s^{\text{варіант1}}. \quad (7)$$

Проведемо аналіз варіанту архітектури, яку ми позначили, як NFV\_варіант2.

З рис. 2 видно, що на комутатор надходять два типи пакетів: нові пакети та пакети, які перенаправляються з контролера. Отже, загальна швидкість потоку дорівнює:

$$\Lambda_s^{\text{варіант2}} = \lambda_0 + P_c\lambda_0 = (1 + P_c) \lambda_0. \quad (8)$$

Середня затримка пакетів в комутаторі може бути виражена як:

$$t_s^{\text{варіант2}} = \frac{1}{\mu_s - (1 + P_c) \lambda_0}. \quad (9)$$

Загальна швидкість потоку в VNF дорівнює:

$$\Lambda_f^{\text{варіант2}} = P_{nfv}\lambda_0 \quad (10)$$

Отже, середню затримку пакетів VNF для варіанту 2 можливо записати, як:

$$t_f^{\text{варіант2}} = \frac{1}{\mu_f - Pnfv\lambda_0}. \quad (11)$$

Пакети, які потребують обробки контролером, повинні надсилатися йому з комутатора. Також пакети, що відходять від модуля ланцюжка сервісів, знову потрапляють у чергу контролера. Поєднуючи ці два випадки, загальну швидкість потоку до контролера можна записати як:

$$\Lambda_c^{\text{варіант2}} = Pc\lambda_0 + (Pc * Pnfv)\lambda_0 = (1 + Pnfv)Pc\lambda_0. \quad (12)$$

Оскільки, контролер є системою M / M / 1, затримку пакетів на контролері можна розрахувати як:

$$t_c^{\text{варіант2}} = \frac{1}{\mu_c - (1 + Pnfv)Pc\lambda_0}.$$

Таким чином, можемо обчислити середню затримку для пакетів NFV для варіанту, що розглядається таким чином:

$$\begin{aligned} t_{\text{загальна}}^{\text{варіант2}} &= Pc(2t_s^{\text{варіант2}} + 2t_c^{\text{варіант2}} + t_{sc}^{\text{варіант2}} + \\ &+ t_f^{\text{варіант2}}) + (1 - Pc)(t_f^{\text{варіант2}} + t_s^{\text{варіант2}}) = \\ &= (1 - Pc)t_s^{\text{варіант2}} + 2Pct_c^{\text{варіант2}} + \\ &Pct_{sc}^{\text{варіант2}} + t_f^{\text{варіант2}}; \end{aligned}$$

де  $t_{sc}^{\text{варіант2}}$  – середня затримка пакетів у модулі ланцюжка сервісів.

## Висновки

У роботі представлено моделі для двох архітектур SDN у поєднанні з NFV. Проведено аналіз двох архітектур SDN, в яких NFV знаходиться під контролером або в стороні від нього. Визначені аналітичні моделі для середньої затримки для пакетів NFV

Аналіз затримки пакетів NFV проводився за допомогою моделі M / M / 1.

В наступних роботах планується перевірка викладеного аналізу шляхом проведення імітаційного моделювання.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. P.-C. Lin, Y.-D. Lin, C.-Y. Wu, Y.-C. Lai, and Y.-C. Kao, "Balanced service chaining with traffic steering in software defined networks with network function virtualization," IEEE Computer, vol. 49, no. 11, pp. 68–76, November 2016.
2. Y.-D. Lin, P.-C. Lin, C.-H. Yeh, Y.-C. Wang, and Y.-C. Lai, "An extended sdn architecture for network function virtualization with a case study on intrusion prevention," IEEE Network, vol. 29, no. 3, pp. 48–53, May/June 2015.
3. M. Jarschel, S. Oechsner, D. Schlosser, R. Pries, S. Goll, and P. Tran-Gia, "Modeling and performance evaluation of an OpenFlow architecture," in International teletraffic congress, 2011, pp. 1–7.
4. S. Azodolmolky, R. Nejabati, M. Pazouki, P. Wieder, R. Yahyapour, and D. Simeonidou, "An analytical model for software defined networking: A network calculus-based approach," in GLOBECOM, Atlanta, GA, Dec 9-13 2013, pp. 1397–1402.
5. K. Mahmood, A. Chilwan, O. N. Østerbø, and M. Jarschel, "On the modeling of openflow-based sdn: The single node case," arXiv preprint arXiv:1411.4733, 2014.
6. "Modelling of OpenFlow-based software-defined networks: the multiple node case," IET Networks, vol. 4, no. 5, pp. 278–284, 2015.
7. G. Wang, J. Li, and X. Chang, "Modeling and performance analysis of the multiple controllers' approach in software defined networking," in International Symposium on Quality of Service, Portland, OR, June 15-16, 2015, pp. 73–74.
8. B. Xiong, K. Yang, J. Zhao, WeiLi, and K. Li, "Performance evaluation of openflow-based software-defined networks based on queueing model," Computer Networks, vol. 102, pp. 172–185, 2016.
9. Y. Goto, H. Masuyama, B. Ng, W. K. Seah, and Y. Takahashi, "Queueing analysis of software defined network with realistic openflow-based switch model," in IEEE International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS), London, UK, September 19-21, 2016, pp. 301–306.
10. W. Miao, G. Min, Y. Wu, H. Wang, and J. Hu, "Performance modelling and analysis of software-defined networking under bursty multimedia traffic," ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM), vol. 12, no. 5s, pp. 77:1–19, 2016.

Received (Надійшла) 11.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 28.04.2021

## Analytical simulation of SDN / NFV

Olha Zinchenko, Viktor Vyshnivskiy, Valerii Hladkykh, Serhii Prokopov, Oleksandr Zvenihorodskiy

**Abstract.** Traditional telecommunication networks were designed for the use of specialized hardware devices (routers, Ethernet switches, etc.). These devices were created on the basis of specific hardware and software platforms of individual vendors. The deployment of such network devices has led to long cycles of design and commissioning, and, consequently, to a slowdown in the introduction of new products and services. Maintenance and management of networks of this type has been and remains quite inefficient and expensive. The sharing of SDN and NFV changes the traditional paradigm of network construction, which is how the operator designs, develops, administers the network, and provides products and services to users. Such a paradigm shift can provide many technological and operational benefits. The paradigm shift is aimed at a fundamental rethinking of the cost structure of the operator and the mode of its operational processes. This shift, when used properly, is also able to provide fast and flexible on-demand services development, which increases the operator's competitiveness in the telecommunications and information services market. The article analyzes the advantages of implementing modern technologies for virtualization of network functions. Combining SDNs with NFVs has great advantages, but the problem is their integration. In general, the article is devoted to the study of ways to integrate virtualized network functions and the SDN controller. There are two possible architectures for this integration: the SDN controller interacts with virtualized network functions (VNF) or the switch interacts with VNF. This article provides an analytical description of both options. Thus, the article aims to create a mathematical model for analytical modeling of SDN with NFV and ultimately increase productivity and accelerate the introduction of modern network technologies.

**Keywords:** virtualization of network functions, SDN, queueing systems, OpenFlow.

В. Д. Карлов<sup>1</sup>, И. Г. Леонов<sup>1</sup>, А. І. Нос<sup>1</sup>, С. Г. Леушин<sup>1</sup>, М. М. Олещук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

<sup>2</sup>Військова частина А 2533, Дніпро, Україна

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАСИВНИХ ПЕРЕШКОД ПОБЛИЗУ АЗОВСЬКОГО МОРЯ ПРИ НАЯВНОСТІ ТРОПОСФЕРНОГО РАДІОХВИЛЕВОДУ ДЕЦИМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ ХВИЛЬ

**Анотація.** Наведені результати експериментального дослідження пасивних перешкод у районі Азовського моря для радіолокаційних станцій дециметрового діапазону електромагнітних хвиль. Проаналізовано метеорологічні умови появи пасивних перешкод джерело яких знаходиться за межею радіогоризонту при наявності тропосферного радіохвилеводу для прибережної позиції радіолокаційної станції. В ході експерименту отримано, що дальність поширення електромагнітних хвиль при наявності тропосферних радіохвилеводів може суттєво перебільшувати дальність щодо радіогоризонту. Однак при цьому зростає вплив додаткових пасивних перешкод, які заходяться, як у межі так і за межею радіогоризонту. Причиною цього вважають стан радіофізичних характеристик тропосфери над морською поверхнею.

**Ключові слова:** експериментальні дослідження; дециметровий діапазон; пасивні перешкоди, джерело яких знаходиться за межею радіогоризонту; тропосферний радіохвилевід узбережжя Азовського моря.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасний розвиток науки і технології дозволяє активно використати останні досягнення в засобах повітряного нападу. Наприклад, має розвиток застосування безпілотних засобів повітряного нападу розвідки та знищення військових та цивільних об'єктів [1]. Безпілотні засоби повітряного нападу мають мали ефективні поверхні розсіювання, широкий діапазон швидкостей та висот польоту. Для радіолокаційного вияву безпілотних засобів повітряного нападу та наведення засобів протиповітряної оборони потрібно побудова спеціальних радіолокаційних станцій [18]. Для таких радіолокаційних станцій у прибережному регіоні необхідна додаткова оцінка їх перешкодозахищеності від додаткових пасивних перешкод, які знаходяться, як у межі так і за межею радіогоризонту [15, 16].

**Аналіз літератури вітчизняних і зарубіжних авторів.** Військові конфлікти останніх років свідчить про зростаючу роль безпілотних засобів повітряного нападу при знищенні військової техніки, командних пунктів та інших об'єктів державного і військового призначення. Проведення Операції Об'єднаних Сил поблизу Азовського моря збільшує імовірність налетів безпілотних засобів повітряного нападу з боку Азовського моря на малих та гранично малих висотах [1-3]. У таких умовах дальність виявлення безпілотних засобів повітряного нападу обмежена дальністю радіогоризонту, яка недостатня для їх ефективного знищення. Пошук шляхів збільшення дальності вияву маловисотних безпілотних засобів повітряного нападу веде до необхідності використання специфічних умов поширення електромагнітних хвиль у тропосферних радіохвилеводах над морем [4-9, 15, 16]. У цих умовах локація здійснюється в умовах специфічних пасивних перешкод, джерело яких знаходиться, як у межі так і за межею радіогоризонту [8-14, 17].

Стаття присвячена результатам експериментальних досліджень пасивних перешкод, джерелом яких є відбиття від гірських масивів, що знаходяться за межею радіогоризонту та оптично небачених об'єктів – “луна - ангелів”.

**Мета статті:** оцінка результатів дослідження додаткових пасивних перешкод дециметровим радіолокаційним станціям поблизу Азовського моря які знаходяться, як у межі так і за межею радіогоризонту.

### Виклад основного матеріалу

Досвід експлуатації радіолокаційних станцій, які розміщені поблизу Азовського моря показує, що дальність поширення електромагнітних хвиль при наявності тропосферних радіохвилеводів може суттєво перебільшувати дальність щодо радіогоризонту. Однак при цьому зростає вплив додаткових пасивних перешкод, які заходяться, як у межі так і за межею радіогоризонту [2, 3]. Причиною цього вважають стан радіофізичних характеристик тропосфери над морською поверхнею [8, 19-23]. Експериментальні дослідження, проведені в Харківському Національному Університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба [4, 5] дозволили отримати характеристики пасивних перешкод, які можуть виникати при існуванні тропосферних радіохвилеводів поблизу Азовського моря.

Як відомо, основним засобом забезпечення перешкодозахищеності від пасивних перешкод є побудова спеціальних систем обробки сигналів у радіолокаційних станціях, які знаходяться під впливом пасивних перешкод [2]. Системи обробки радіолокаційних станцій у пасивних перешкодах, зазвичай, будують за умови стаціонарності та нормальності часових та спектральних характеристик пасивних перешкод.

Відмінність умов поширення електромагнітних хвиль від стандартних, які існують в прибережних районах Азовського моря при існуванні тропосфер-

них радіохвильоводів, може призводити до невиконання таких умов [8, 13, 10].

Для кожної позиції радіолокаційної станції пасивні перешкоди мають свої часові, спектральні і статистичні характеристики. Тому необхідно дослідити пасивні перешкоди для різних приморських позицій радіолокаційних станцій та отримати усереднені і результати [14].

Дослідження фізичних процесів над акваторіями внутрішніх морів [2, 3] свідчать про те, що зміни клімату збільшують імовірність появи тропосферних радіохвильоводів над Азовським морем. Тому зростає вірогідність появи додаткових пасивних перешкод, які знаходяться, як у межі так і за межею радіогоризонту [12, 13, 15, 21]. Метеорологічні процеси, при яких можливе утворення тропосферних радіохвильоводів детально описані в [7, 8]. Метеорологічні процеси, що відбуваються в прибережних районах Азовського моря нестационарні, тому статистичні параметри пасивних перешкод, що знаходяться як у межі, так і за межею радіогоризонту, істотно нестационарні [9, 11, 13, 15] мають слабу кореляція за часом, за азимутом и за кутом міста.

Для отримання характеристик пасивних перешкод поблизу Азовського моря співробітниками Харківського Національного Університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба була проведена низка експериментів [4, 5].

У експериментах [4, 5], в якості вимірювача пасивних перешкод було використано типова трьохкоординатна радіолокаційна станція дециметрового діапазону, позиція, якої знаходиться на узбережжі Азовського моря (рис. 1).



Рис. 1. Позиція РЛС, яка знаходиться на узбережжі Азовського моря, джерело: [4, С. 8]

Висота фазового центру антени радіолокаційної станції 30(м).

Максимальна дальність дії радіолокаційної станції 150 (км).

Методика виконання експериментальних досліджень складалася у наступному:

- радіолокаційна станція вмикалась у режим огляду простору на максимальну дальність;
- вмикалась система захисту від пасивних перешкод;
- радіолокаційна обстановка спостерігалась за допомогою індикатора кругового огляду (ІКО);

- якщо на протязі однієї хвилини на індикатору кругового огляду з'являлося відмітки, які було можливо ідентифікувати, як пасивні перешкоди, зображення індикатора кругового огляду фіксувалось за допомогою фотоапарату;

- амплітуда пасивних перешкод вимірялася у каналу формування керуючого сигналу миттєвої системи автоматичного управління підсилювача проміжної частоти приймача радіолокаційної станції;

- отримані фотографії накладалося на карту місцевості;

- фіксувались метеорологічні умови.

На рис. 2 наведено характерний вигляд індикатора кругового огляду при появі пасивних перешкод.

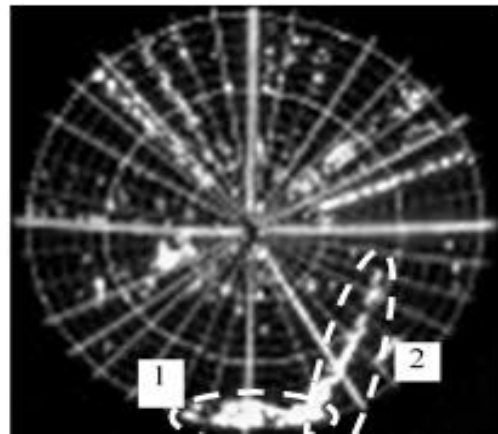


Рис. 2. Вигляд ІКО при появі пасивної перешкоди, джерело: [4, С. 10].

Для ідентифікації пасивних перешкод (ПП) порівнялася карта проведення експерименту і зображення індикатора кругового огляду.

На рис. 3 наведено результати накладання зображення індикатора кругового огляду на карту проведення експерименту.

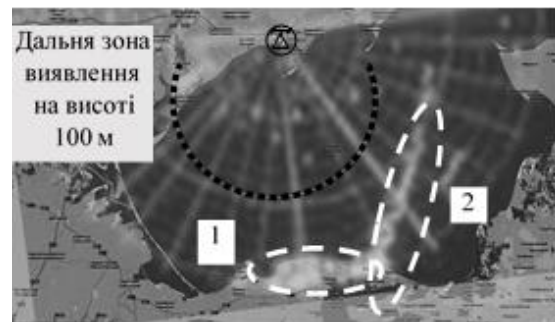


Рис. 3. Результати накладання зображення ІКО на карту проведення експерименту, джерело: [4, С. 16]

На рис. 2, 3 можна побачити, області інтенсивних пасивних перешкод (1)-(2).

Область (1) за формою і положенням відповідає Керченському півострову. Область (2) вказує на те, що ці пасивні перешкоди виникли внаслідок відбиттів від Кавказьких гір, які розташовані на відстані, більшій інтервалу однозначного вимірювання дальності РЛС. Інші відбиття не належать ніяким географічним об'єктам, тому вважаються "луна - ангелами".

Північний берег Керченського півострова є урвистим, із прибережними висотами до 100 м. В північній частині півострова знаходиться гора Маяк із висотою 189 м. Центральна частина півострова має більш пологий рельєф.

Підвищення рельєфу починається ближче до північного узбережжя із максимальними висотами 120-180 м. Томуна ІКО РЛС є відбиття лише від північної частини півострова.

Для узбережжя Керченського півострова дальність до радіогоризонту в при нормальній рефракції складає 64 км, що менше дальності відбиття зони (1). Для гори Маяк дальність до радіогоризонту складає 80 км, що майже у два рази менше, ніж відстань, з якої були отримані відбиття [6].

Проведено аналіз градієнту індексу заломлення повітря за висотою ( $-g_N$ ) та метеорологічних умов у місті проведення експерименту при появі ПП, джерело яких знаходиться за межею РГ. Він показує, що ПП виникають, якщо

$$(-g_N) \geq 0,19 N (\text{од./м}).$$

Для  $(-g_N) \leq 0,19 N (\text{од./м})$  додаткові ПП не виникають [6].

Індекс заломлення повітря залежить від поточних метеорологічних умов [2, 6]:

$$N = \frac{77,6}{T_n} \left( p_n + \frac{4810 e_n}{T_n} \right), \quad (1)$$

де  $(T_n)$  – температура повітря в К°;  $(p_n)$  – атмосферний тиск в мб;  $(e_n)$  – тиск водяної пари в мб.

Аналіз приземних метеорологічних даних в точці розміщення РЛС не вказує на їх зв'язок з появою ПП.

В ході дослідження показано, що потужність пасивних перешкод у зонах (1) і (2) більш потужності внутрішніх шумів приймача радіолокаційної станції на вході пристрою виявлення на 10 – 20(дБ), тобто в 10 – 100 разів ( $R_{пп}/R_{пр \min}=10-100$ ), що може перебільшувати динамічний діапазон приймача радіолокаційної станції. Тому виявлення цілей у зонах (1) і (2) майже неможливо.

З появою тропосферних радіохвильоводів є зростання щільності та інтенсивності “луна - ангелів”, як в межі так і за межею радіогоризонту. Максимальна інтенсивність “луна - ангелів” зафіксовано на висотах 30...3000(м) за дальністю 50 – 150(км). “Луна - ангели” спостерігалися у вигляді груп з 3...5 окремих “луна - ангелів”.

Щільність “луна - ангелів” у межі радіогоризонту складало 0,3...0,5 (1/м<sup>2</sup>), а за межею радіогоризонту 0,1...0,01 (1/м<sup>2</sup>). Отримано, що щільність залежить від дальності, географічних координат “луна - ангелів”, сезонних і погодних умов у місті проведення експерименту.

Час існування “луна - ангелів” складає від 10 сек до 10 хв у тому самому елементу розподілу. Кути міста, під якими виявлялися “луна - ангели”, склали 00 – 60.

Геометричні розміри “луна - ангелів” – 50 – 300 (м). Доплерівський спектр “луна - ангелів” складає 2 – 5 (кГц), що відповідає швидкості цілі  $V_{ц}=360 – 900$  км/год. Типова смуга резекції дециметрових радіолокаційних станцій складає 1(кГц), що відповідає швидкості цілі  $V_{ц}=180$  (км/год). Тому, якщо швидкість цілі  $180$  (км/год.)  $\leq V_{ц} \leq 900$  (км/год.), імовірність її виявлення у пасивних перешкод типу “луна - ангелів” різко зменшується.

Інтенсивність “луна - ангелів” збільшується при зменшенні кута міста, що свідчить про багатопроменевий механізм поширення електромагнітних хвиль у тропосферних радіохвильоводах у дециметровому діапазоні [8, 21-25].

## Висновки

Дослідження фізичних процесів над акваторіями Чорного та Азовського морів свідчать про те, що зміни клімату збільшують вірогідність появи тропосферного радіохвильоводу над морем.

Тому зростає вірогідність появи пасивних перешкод, джерело яких знаходяться за межею радіогоризонту. Метеорологічні процеси, що відбуваються в прибережних районах і над морем нестационарні, тому статистичні параметри пасивних перешкод, які діють за межи радіогоризонту, істотно нестационарні.

Практично отримано, що поблизу Азовського моря для РЛС дециметрового діапазонів хвиль при  $(-g_N) \geq 0,19 N (\text{од./м})$  виникають пасивні перешкоди, джерело яких знаходяться за межею радіогоризонту. Ці перешкоди мають високу інтенсивність та широкий доплерівський спектр, який може перебільшувати смугу резекції систем захисту типових пристроїв обробки існуючих РЛС.

Збільшення інтенсивності пасивних перешкод при зменшенні кута міста свідчить про багатопроменевий механізм поширення електромагнітних хвиль у тропосферних радіохвильоводах для радіолокаційних станцій дециметрового діапазону поблизу Азовського моря.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Довідник учасника АТО: озброєння і військова техніка Збройних сил Російської Федерації/ А.М. Алімпієв, Г.В. Певцов, Д.А. Гриб та ін./ За заг. ред. А.М. Алімпієва. – Х.: Оригінал, 2015. – 732 с.
2. Загоризонтное распространение ультракоротких радиоволн над морем: Обзор. /Кукушкин А.В., Фрейлихер В.Д., Фукс И.М. // Известия вузов. Радиофизика, 1987. – Т. XXX. – №7. – С. 811-839.
3. Леонов И.Г. Вплив місцевої рефракції на дальність радіогоризонту Десята наукова конференція ХУПС ім. І. Кожедуба «Новітні технології-для захисту повітряного простору»: тези доповідей, 9-10 квітня 2014 року.-Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2014.- С. 268 Мисайлов В.Л. Родюков А.О.
4. Карлов В.Д., Артеменко А.М., Струцінський О.В., Пічугін І.М. Оптимізація вимірювання дальності до цілі при її радіолокації в межах тропосферного хвильоводу над морем. Збірник наукових праць Системи управління, навігації та



- зв'язку. – Полтава: Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка. – 2017. – № 5 (45). – С. 18-21.
5. Леонов И.Г. Обнаружение аэродинамических целей в условиях шумовых и пассивных помех с широким доплеровским спектром./ Карлов В.Д., Леонов И.Г., Присяжный А.Е., Луковский О.Я.// Системы обработки информации. – Х.: ХУПС. Выпуск 9(58), 2006. – С.34 – 36
  6. Leonov I. G. 41Increase of efficiency of suppression of reflecting from handicaps (interferences) such as "angel-echo" at the expense of use of multifrequency signals. Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals, 2004, Sevastopol, Ukraine pp.265-267. Karlov V.D.,Maksjuta D.V.,Gavrilkina V.V
  7. Леонов И.Г.Результати експериментальних досліджень коефіцієнта рефракції у континентальній частині України. Восьма наукова конференція ХУПС ім. І. Кожедуба «Новітні технології-для захисту повітряного простору»: тези доповідей, 18-19 квітня 2012 року.-Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012.- С. 304 А.М.Коржов,А.С.Присяжний,Р.М.Животовський
  8. Война в зоне Персидского залива .(Анализ действий СВН и ПВО) / Авт.кол.под рук. Лосева И.Ф. Пособие – Киев: в/ч 22455,1991. – С.128.
  9. Бин Б.Р. Радиометеорология: Пер. с англ. / Бин Б.Р., Даттон Е.Дж.Под общ. ред. А.А. Семенова // Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 368
  10. Дальнее тропосферное распространение радиоволн./ Под ред. Б. А. Введенского и др.// Советское радио, 1965.
  11. Лобкова Л.М. Распространение радиоволн над морской поверхностью / Л.М. Лобкова // Радио и связь, 1991. – С. 256
  12. Иванов В.Х. Распространение УК радиоволн над морем: Дис.д-ра. физ. мат. наук: 01.04.03/ Иванов Виктор Кузьмич– Харьков: ИРЭ АН Украины, 1994. – С. 201
  13. Калинин А.И. Распространение радиоволн на трассах наземных и космических радиолиний /А.И.Калинин // Связь, 1979. – С. 296
  14. Казаков Л.Я. Неоднородности коэффициента преломления воздуха в тропосфере /Л.Я. Казаков А.Н. Ломакин // Наука, 1976. – С. 165
  15. Ширман Я. Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех /Я.Д. Ширман, В. Н. Манжос //Радио и связь, 1981. – С. 416
  16. Karlov V. Evaluation of the accuracy of measuring the radial velocity of a target with an exponential and alternating decrease in phase correlation of the burst radio signal. Друк.Сучасні інформаційні системи. Щоквартальний науково-технічний журнал. – Х.: НТУ ХПІ, 2019. – Том 3, № 1 – С. 71-75.О. Kuznietsov A.ArtemenkoA. Karlov
  17. Кравцов Ю.А., Свистунов К.В., Тинин М.В. Об использовании представлений лучевых траекторий в расширенном пространстве параметров при решении задач распространения волн в неоднородных средах/ Ю.А.Кравцов., К.В. Свистунов, М.В. Тинин.// Радиотехника и электроника. – 1990. – № 8. – С.1603–1609.
  18. Красюк Н.П. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС /Н.П.Красюк, В.Л. Коблов, В.Н. Красюк // Радио и связь, 1988. – С. 216
  19. 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>
  20. 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>
  21. Максимова Н.Г. Современное состояние дистанционного зондирования атмосферного пограничного слоя с поверхности Земли (Методы исследования, наиболее важные результаты)/ Н.Г. Максимова// Радиотехника. – 1998. – Вып.10.– С.43-57.
  22. Рекомендация МСЭ-R P.1407-2. Многолучевое распространение и параметризация его характеристик.
  23. Татарский В.И. Распространение радиоволн в турбулентной атмосфере / В.И. Татарский // Наука, 1967. 548 с.

Received (Надійшла) 25.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.05.2021

### Experimental studies of passive interference near the Azov sea in the presence of a tropospheric UHF waves

Vladimir Karlov, Igor Leonov, Andriy Nos, Serhiy Leushyn, Mykola Oleschuk

**Abstract.** Experience in the operation of radar stations located near the sea shows that the range of electromagnetic waves in the presence of tropospheric radio waveguides can significantly exceed the range relative to the radio horizon. However, this increases the impact of additional passive interference, which enters, both within and beyond the radio horizon. The reason for this is considered to be the state of radiophysical characteristics of the troposphere above the sea surface. As you know, the main means of ensuring noise immunity from passive interference is the construction of special signal processing systems in radar stations, which are under the influence of passive interference. Radar station processing systems in passive interference are usually built under the condition of stationarity and normality of time and spectral characteristics of passive interference. The difference in the conditions of propagation of electromagnetic waves from the standard ones that exist in the coastal areas of the Sea of Azov in the presence of tropospheric radio waveguides may lead to non-compliance with such conditions. For each position of the radar station passive interference has its own temporal, spectral and statistical characteristics. Therefore, passive obstacles for different coastal positions of radar stations were investigated and averaged results were obtained. Studies of physical processes over the waters of the inland seas show that climate change increases the likelihood of tropospheric radio waves over them. Therefore, the probability of additional passive interference, which is both within and beyond the radio horizon, increases. Meteorological processes occurring in the coastal areas of the Sea of Azov are non-stationary, so the statistical parameters of passive interference, both within and beyond the radio horizon, are significantly non-stationary have a weak correlation in time, azimuth and city angle.

**Keywords:** experimental studies; decimeter range; passive interference; the source of which is beyond the radio horizon; tropospheric radio waveguide; the coast of the Sea of Azov.



О. В. Коломійцев<sup>1</sup>, Алнаері Фрхат Алі<sup>2</sup>, І. Ю. Петровська<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

<sup>2</sup> Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна

## МЕТОД РОЗРАХУНКУ РОЗМІРУ БУФЕРНОЇ ПАМ'ЯТІ САМОВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО СЕГМЕНТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

**Анотація.** У статті запропоновано підхід до розрахунку розміру буферної пам'яті самовідновлювального сегмента мережі передачі даних. **Предметом дослідження** є автономні сегменти телекомунікаційної мережі, які володіють властивістю самовідновлення. **Об'єктом дослідження** є процес формування місць у буферній пам'яті автономного сегмента, який дозволить зменшити ймовірність втрати пакетів. **Наукова новизна** полягає в удосконаленні методу розрахунку розміру буферної пам'яті самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі при обмежених мережних ресурсах шляхом визначення мінімально необхідної кількості місць. **Використані методи.** Основні теоретичні положення базуються на теорії викидів випадкових процесів. **Результати.** Визначаються пікові викиди трафіка. Затримані пакети можуть бути передані в моменти зниження інтенсивності трафіку нижче вказаного рівня, причому допустимий час затримки визначиться з вимог часової прозорості мережі, яка гарантує встановлену якість обслуговування абонента, котрий використовує послуги відповідної служби. **Висновок:** запропонований підхід надає можливість розрахувати необхідний обсяг буферної пам'яті, що забезпечує підтримку необхідних значень ймовірності відмови обслуговування пакетів.

**Ключові слова:** самовідновлення; телекомунікаційна мережа; буферна пам'ять; сегмент мережі.

### Вступ

Самовідновлювальні системи (СВС) характеризуються автоматичним виявленням збоїв системи і прийомами відновлення після таких ситуацій. Система самовідновлення може активно відстежувати і виявляти потенційні відхилення від своїх стандартних параметрів, перевіряти їх з певним ступенем достовірності і відновлювати нормальні операції без втручання людини.

У СВС обов'язковий механізм моніторингу та виявлення, який постійно контролює систему, щоб переконатися, що вона працює нормально, і повідомляє про будь-які відхилення від очікуваної поведінки. Забезпечуючи раннє виявлення і відновлення системи, системи самовідновлення можуть значно знизити показники QoS [1, 2]. Зокрема, збільшується ймовірність втрати пакетів під час пікового навантаження.

**Аналіз літературних джерел і постановка завдання.** Підходи до зниження ймовірності втрати пакетів під час пікового навантаження розглянуті у [3-6], але існуючі не орієнтовані на самовідновлювальні сегменти мережі.

Тому **метою статті** є розроблення підходу до визначення мінімально необхідного розміру буферної пам'яті самовідновлювального сегмента мережі передачі даних при заданій максимально можливій допустимій ймовірності втрат пакетів, орієнтовано на особливості самовідновлювальних структур.

### Основна частина

Швидкість передачі інформації, доступна користувачу конкретної служби самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, є стохастичним процесом  $r(t)$  і має ймовірнісний опис. Вона має такі певні характеристики: максимальну швидкість передачі  $r_m$ , середню швидкість  $r_{cp}$  за час сеансу  $T$  і берстність  $B$  (коефіцієнт пачковості).

Берстність дозволяє оцінити необхідну пропускну здатність ланок мережі зв'язку, але не дає можливості оцінити швидкість розвитку випадкового процесу в часі  $r(t)$ , тому що не пов'язана з його спектральними, а, отже, і кореляційними властивостями. Для врахування часового масштабу випадкової функції  $r(t)$ , відповідно до рекомендацій Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ), введена ще одна характеристика трафіку - середній час піку  $T_p$ . З аналізу випадкових процесів випливає, що тривалість викиду залежить від рівня, на якому проводиться вимір, однак в рекомендаціях МСЕ відсутні міркування щодо вибору цього рівня.

Обґрунтований вибір величини рівня вимірювань тривалості піку дасть можливість однозначно визначити такі параметри самовідновлювального сегмента телекомунікаційної мережі, як необхідний обсяг буферної пам'яті, уточнити поняття еквівалентної ширини смуги бігових швидкостей передачі, а також оцінити частоту пульсацій часу затримки (джітер).

Основні теоретичні положення базуються на теорії викидів випадкових процесів. На рис. 1 приведена реалізація випадкового процесу  $\xi(t)$  тривалістю  $T$  (наприклад, тривалість сеансу зв'язку), де  $C$  - фіксований рівень,  $\tau$  - тривалість викиду,  $S$  - площа викиду.

Реальні випадкові процеси є безперервними функціями часу з обмеженим спектром в силу інерційних властивостей, як самого джерела повідомлення, так і пристроїв обробки, що діють як фільтр нижніх частот. Зокрема, поняття коротких і тривалих повідомлень, паузи між ними, відносні і залежать від швидкодії засобів реалізації системи комутації. Джерело трафіку вважається пульсуючим, якщо сумарний час на встановлення і роз'єднання наскрізного каналу менше інтервалу появи наступного повідомлення. Це дає підставу надалі при виведенні

основних формул користуватися параболічною апроксимацією викиду по  $S$  (рис. 1). Такі функції мають кінцеве число максимумів і мінімумів на обмеженому інтервалі часу  $T$ .

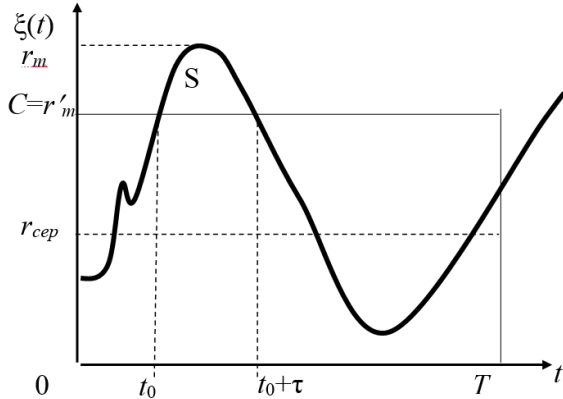


Рис. 1. Реалізація випадкового процесу  $\xi(t)$  тривалістю  $T$

Реалізація може кілька разів перетинати рівень  $C$  від низу до верху (з позитивною похідною). Число таких перетинів відповідає числу позитивних викидів випадкового процесу  $N^+(C, T)$  над рівнем  $C$ , для якого теорія дає досить строгий математичний вираз:

$$N^+(C, T) = \int_0^T dt \int_0^\infty \xi' P(C, \xi'; t) d\xi', \quad (1)$$

де  $P$  – щільність ймовірності над рівнем  $C$ , а штрих означає диференціювання по  $t$ .

Для стаціонарних випадкових процесів вираз (1) значно спрощується:

$$N^+(C, T) = P(C) \int_0^\infty \xi' P(\xi') d\xi'. \quad (2)$$

Формула (2) дає можливість визначити середнє число викидів для довільного закону розподілу випадкового процесу  $\xi(t)$ . Якщо гаусів процес є стаціонарним, то середнє значення повного числа перетинів процесом рівня  $C$  в одиницю часу дорівнює

$$N(C) = \frac{1}{\pi} \sqrt{-\rho_o''} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{C - r_{cp}}{\sigma}\right)^2\right], \quad (3)$$

де  $\rho_o''$  – друга похідна від коефіцієнта кореляції;  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення.

При досить високих рівнях  $C \gg 0$  переважна частина викидів має малу тривалість і дорівнює числу максимумів, що перевищують рівень  $C$ . Випадковий процес  $\xi(t)$ , що плавно змінюється в невеликому околі максимуму, можна апроксимувати параболою.

Нехай  $t_0$  є моментом часу початку позитивного викиду, тобто  $\xi(t_0) = C$ ,  $\xi'(t_0) > 0$ . Розкладемо функцію в ряд Тейлора в околі точки  $t_0$  і обмежимося квадратичним членом:

$$\xi(t) = \xi(t_0) + \xi'(t_0)(t - t_0) + \frac{1}{2} \xi''(t)(t - t_0)^2. \quad (4)$$

Вважаючи, що  $\xi(t_0) = \xi(t_0 - \tau) = C$ , отримаємо

$$\tau = -\frac{2\xi'(t)}{\xi''(t)}. \quad (5)$$

Таким чином, завдання зводиться до обчислення спільної щільності ймовірності  $W_o(\xi_o', \xi_o'')$  початкових похідних. Застосовуючи отримані співвідношення (4) і (5) до нормального стаціонарного процесу з функцією кореляції  $K(\tau) = \sigma^2 \cdot r(\tau)$ , отримаємо щільність ймовірності тривалості викидів при високих позитивних рівнях  $C$ .

$$P(\tau, C) = \frac{1}{4} (-\rho_o'') \frac{C^2}{\sigma^2} \tau \exp\left[-\frac{1}{8} (-\rho_o'') \frac{C^2 \cdot \tau^2}{\sigma^2}\right]. \quad (6)$$

Параболічна апроксимація форми викидів дозволяє знайти розподіл викидів по площі:

$$S = \int_{t_0}^{t_0+\tau} [\xi(t) - C] dt. \quad (7)$$

Враховуючи (5), отримуємо

$$S = \frac{2}{3} (\xi_o')^3 (\xi_o'')^2. \quad (8)$$

При відомій сумісній щільності ймовірності  $W_o(\xi_o', \xi_o'')$  для першої і другої похідних в момент початку позитивного викиду на рівні  $C$  щільність ймовірності розподілу викидів по площі дорівнює

$$P(S, C) = \frac{1}{3} \lambda^{2/3} S^{-1/3} \exp\left[-\frac{1}{2} (\lambda S)^{2/3}\right], \quad (9)$$

де  $\lambda = \frac{2}{3} \frac{C^2}{\sigma^3} \sqrt{-\rho_o''}$ ,  $C \gg \sigma$ . (10)

Таким чином, площу викиду можна розглядати як необхідний обсяг буферної пам'яті в вузлах комутації, щоб уникнути втрати пакетів в разі відсутності необхідної ширини смуги бітової швидкості передачі, причому рівень  $C$  визначає доступну швидкість передачі. Затримані в пам'яті пакети можуть бути передані в моменти зниження інтенсивності трафіку нижче вказаного рівня, причому допустимий час затримки визначиться з вимог часової прозорості мережі, яка гарантує встановлену якість обслуговування абонента, котрий використовує послуги відповідної служби.

Проведемо більш детальний аналіз формули (9), представивши її у вигляді

$$\lambda^{-1} P(S, C) = \frac{1}{3} (\lambda S)^{-1/3} \exp\left[-\frac{1}{2} (\lambda S)^{2/3}\right]. \quad (11)$$

Крива залежності розподілу площі  $S$  викидів нормального стаціонарного процесу над рівнем  $C$  представлена на рис. 2.

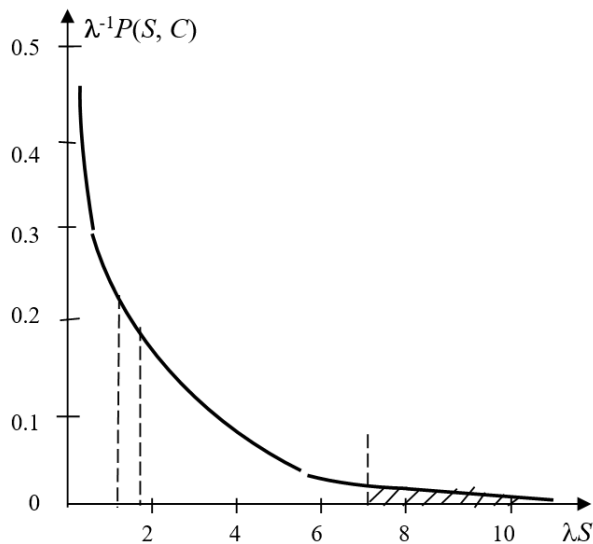


Рис. 2. Площа викидів  $S$  над рівнем  $C$

Визначимо середнє значення площі викиду.

$$S_{сеп} = [MP(C, S)] = \frac{1}{3} \int_0^{\infty} S \cdot \lambda^{2/3} S^{-1/3} \exp\left[-\frac{1}{2}(\lambda S)^{2/3}\right] ds = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{3}{\lambda} \quad (12)$$

або, враховуючи (10),

$$S_{сеп} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cdot \frac{9\sigma^3}{2C^2 \sqrt{-\rho_0''}} \quad (13)$$

Середнє значення тривалості викиду, що визначає додаткову затримку внаслідок зберігання надлишкових пакетів в буферній пам'яті

$$\tau_{сеп} = 2\pi\sigma^2 / \left(\sqrt{-\rho_0''} \cdot C\right) \quad (14)$$

В якості конкретних виразів для  $\rho$  приймемо найбільш поширені коефіцієнти кореляції, які наведені в табл. 1 для фрактальних процесів, де  $\Delta f_e$  – ефективна смуга частотного спектра трафіку

Таблиця 1 – Розрахунок коефіцієнтів кореляції

$\rho(\tau)$	$-\rho_0''$	$S(f)$	$\Delta f_e$	$\sqrt{-\rho_0''}$
$(1 + \alpha \tau )e^{-\alpha \tau }$	$\alpha^2$	$\frac{4\alpha^3}{[\alpha^2 + (2\pi f)^2]^2}$	$\frac{\alpha}{8}$	$8\Delta f_e$
$e^{-\alpha\tau^2}$	$2\alpha$	$\frac{\sqrt{\pi/\alpha} \times \exp(-\pi^2 f^2/\alpha)}{2\sqrt{\pi}}$	$\frac{1}{2}\sqrt{\frac{\alpha}{\pi}}$	$3,54 \times \Delta f_e$
$[1 + \alpha \tau ] + (\alpha\tau)^2 e^{-\alpha \tau /3}$	$\frac{1}{3}\alpha^2$	$\frac{16\alpha^5}{3[\alpha^2 + (2\pi f)^2]^3}$	$\frac{3}{32}\alpha$	$6,02 \times \Delta f_e$
$[1 + (\alpha\tau)^2]^{-1}$	$2\alpha^2$	$\frac{\pi}{\alpha} \exp\left(-\frac{2\pi f}{\alpha}\right)$	$\frac{1}{2\pi}\alpha$	$8,85 \times \Delta f_e$
$\text{Sech}(\alpha\tau)$	$\alpha^2$	$\frac{\pi}{2} \text{sech}\left(\frac{\pi^2 f}{\alpha}\right)$	$\frac{1}{2\pi}\alpha$	$6,28 \times \Delta f_e$

Зазвичай при проведенні аналізу фрактального трафіка використовують другий рядок даної таблиці, тобто для  $\rho(\tau) = e^{-\alpha\tau^2}$ , отже тоді відповідні характеристики можуть бути розраховані за такими виразами:

$$N(C) = a\Delta f_e \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(C-m)^2}{\sigma}\right]; \quad (15)$$

$$P(\tau, C) = 2b\Delta f_e \cdot C^2 \cdot \tau \exp\left[-B\Delta f_e \left(\frac{C\tau}{\sigma}\right)\right]; \quad (16)$$

$$\lambda = d \cdot \frac{C^2}{\sigma^3} \Delta f_e, \quad (17)$$

причому значення констант  $a, b, d$  залежно від вигляду функцій кореляції, змінюються в таких межах:

$$a = 1,13 \div 2,82;$$

$$b = 0,44 \div 1,10;$$

$$d = 2,36 \div 5,9.$$

Остаточні вирази середніх значень тривалості викиду і його площі для функції кореляції вигляду  $r(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha\tau}$  можна представити таким чином:

$$\tau_{сеп} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{\sigma}{C \cdot \Delta f_e}; \quad (18)$$

$$S_{сеп} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma^3}{\Delta f_e}. \quad (19)$$

Із виразів (18), (19), можна знайти в середньому співвідношення між тривалістю викиду і його площею:

$$S_{сеп} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sigma^2}{C} \cdot \tau_{сеп}. \quad (20)$$

Якщо ототожнювати  $\xi(t)$  зі швидкістю передачі інформації  $r(t)$ , а  $S_{сеп}$  з необхідним обсягом буферної пам'яті, тобто  $S_{сеп} = \bar{S}$ , то середній обсяг пам'яті виражається через середній час піку такою залежністю:

$$\bar{S} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sigma^2}{C} \tau_{сеп} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\sigma^2}{C} \cdot T_p. \quad (21)$$

При фіксованій довжині пакета можна отримати оцінку нижньої границі потрібної кількості місць у черзі. Так при стандартній довжині пакета 8 кбіт необхідно мати не менше ніж

$$\bar{m}_0 = 0,15 \cdot \frac{\sigma^2}{C} \cdot T_p \text{ (місць)}, \quad (22)$$

причому і рівень  $C$  вимірюються в кбіт/с.

Однак в практичних задачах недоцільно пов'язувати необхідний обсяг буферної пам'яті із середнім значенням площі викиду, так як це робить жорсткішими вимоги до системи зв'язку. Можна визначити рівень обмеження  $C = C_n$  так, щоб площа викиду з ймовірністю  $P_0$  не перевищувала задану ве-

личину  $S_n$ , сумісну з ресурсами мережі. На рис. 2 значення  $(\lambda S)_n$  визначає нижню межу заштрихованої області та ймовірність появи викиду, що має площу, яка перевищує задану величину, отже,

$$P_o(S) = P(S \leq S_n) = 1 - \int_{+S_n}^{\infty} P(S, C) dS = 1 + e^{-\frac{1}{3} \lambda^{2/3} S_n^{2/3}}, \quad (23)$$

де  $\lambda$  визначається формулою (17).

На рис. 3 наведена залежність даної ймовірності від значень площі викидів.

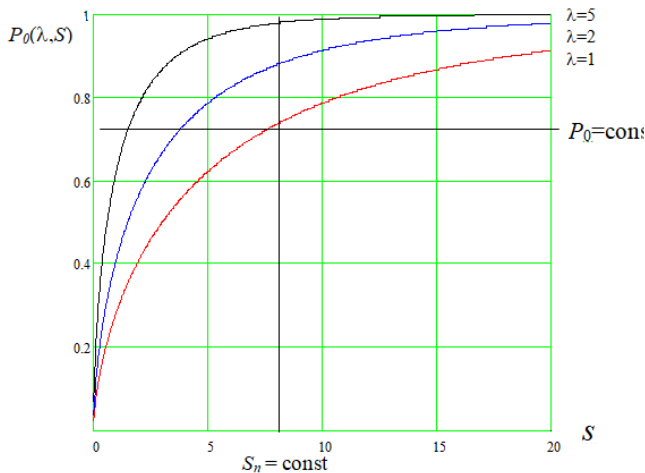


Рис. 3. Поріг допустимих швидкостей передачі

Криві залежності (23) при  $\lambda = const$ , що представлені на рис. 3, дозволяють визначити поріг  $C_n$ , що визначає допустиму швидкість передачі для кожної служби, виходячи із значень  $P_0$  і  $S_n$ , за якими параметр визначається однозначно:

$$C_n = \sqrt{\lambda_n \cdot \sigma^3 / (d \cdot \Delta f_e)}, \quad (24)$$

де поріг  $C_n$  відраховується від середнього значення трафіку, тобто  $C_n = C - m$ , що відповідає геометричним координатам точок  $P_0(S)$ , що проходить через точку перетину прямих  $P_0 = const$  і  $S_n = const$ .

## Висновки

У статті розроблений підхід до визначення мінімально необхідного розміру буферної пам'яті самовідновлювального сегмента мережі передачі даних при заданій максимально можливій допустимій ймовірності втрат пакетів. Основні теоретичні положення базуються на теорії викидів випадкових процесів. Визначаються пікові викиди трафіка. Затримані пакети можуть бути передані в моменти зниження інтенсивності трафіку нижче вказаного рівня, причому допустимий час затримки визначається з вимог часової прозорості мережі, яка гарантує встановлену якість обслуговування абонента, котрий використовує послуги відповідної служби. Отже, запропонований підхід надає можливість підвищити значення показників QoS, пов'язаних із ймовірністю відмови обслуговування пакетів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Shefer O.V., Alnaeri Frhat Ali. Optimum flow distribution in the network with adaptive data transfer. *Electronics and Control Systems*. 2020. No. 4(66). P.45-50. DOI: <https://doi.org/10.18372/1990-5548.66.15254>
2. Sobieraj M., Stasiak M., Weissenberg J. Analytical model of the single threshold mechanism with hysteresis for multi-service networks. *IEICE Transactions on Communications*. 2012. Vol. E95.B, No. 1. P. 120–132.
3. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V. Improving Big Data Centers Energy Efficiency: Traffic Based Model and Method / Kharchenko V., Kondratenko Y., Kacprzyk J. (eds) *Green IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol 171. Cham: Springer, 2019. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
4. Kurose J., Ross, K. Computer networking: a top-down approach, 7th ed. Harlow: Pearson, 2017. 864 p.
5. Kuchuk N., Mozhaiev O., Mozhaiev M., Kuchuk H. Method for calculating of R-learning traffic peakedness. *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017 – Proceedings*. 2017. P. 359-362. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>
6. Vapnik V. (), *Estimation of Dependences based on Empirical Data*, N.-Y., Berlin : Springer-Verlag, 1987. 326 p.

Received (Надійшла) 18.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.05.2021

## Method of calculating the size of the self-recovery segment buffer memory of the telecommunications network

Oleksii Kolomiitsev, Alnaeri Frhat Ali, Inna Petrovska

**Abstract.** The article proposes an approach to calculating the buffer memory size of the self-healing segment of the data transmission network. The subject of the study are autonomous segments of the telecommunications network, which have the property of self-healing. The object of the study is the process of forming places in the buffer memory of the autonomous segment, which will reduce the likelihood of packet loss. The scientific novelty is to improve the method of calculating the size of the buffer memory of the self-healing segment of the telecommunications network with limited network resources by determining the minimum required number of places. Methods used. The main theoretical provisions are based on the theory of emissions of random processes. Results. Peak traffic emissions are determined. Delayed packets can be transmitted when the traffic intensity falls below the specified level, and the allowable delay time will be determined by the requirements of time transparency of the network, which guarantees the established quality of service to the subscriber who uses the services of the service. Conclusion: the proposed approach makes it possible to calculate the required amount of buffer memory, which provides support for the required values of the probability of failure to service packets.

**Keywords:** self-healing; telecommunication network; buffer memory; network segment.

Г. А. Кучук<sup>1</sup>, П. Є. Пустовойтов<sup>1</sup>, О. Г. Лебедєв<sup>2</sup>, В. В. Лимаренко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

<sup>2</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Полтава, Україна

## МЕТОД РОЗРАХУНКУ КОЕФІЦІЕНТА КОРЕЛЯЦІЇ ФРАКТАЛЬНОГО ТРАФІКА

**Анотація.** Властивості мережного трафіка мультисервісних мереж, що спостерігаються сьогодні на практиці, досить складно інтерпретувати за допомогою методів статистичного аналізу, характерних для ustalених режимів роботи мережних застосунків. Зазвичай магістральний трафік, орієнтований на одночасне обслуговування інформаційних потоків доволі часто має фрактальний характер. Це призводить до неможливості отримання характеристик трафіка звичними підходами. Зокрема, проблеми виникають при визначенні статистичних характеристик другого порядку. У статті запропонований підхід до розрахунку коефіцієнта кореляції фрактального трафіка, який базується на аналізі фрактальних властивостей мережних процесів. Для розрахунку використовується модель узагальненого броунівського руху. При цьому використовується операція дробового інтегрування броунівського руху із ядром, що має вигляд степеневі функції із дробовим показником, а отриманий вираз показує залежність степеневого хвоста розподілу від параметра Херста. Запропонований метод дозволяє провести аналітичну оцінку коефіцієнта кореляції, а також визначити ступінь фрактальних властивостей даного випадкового процесу.

**Ключові слова:** мультисервісна мережа; броунівський рух; трафік; коефіцієнт кореляції.

### Вступ

Зростаючі потреби суспільства в нових послугах телекомунікаційних мереж призводять до зміни ідеології побудови кожне десятиріччя. На сьогодні на зміну технологіям, що використовують мультиплексування з розділенням та ущільненням за довжиною хвилі, прийшли мультисервісні технології, основним принципом концепції яких є відділення одна від одної функцій перенесення та комутації, функцій керування транзакціями та функцій керування послугами.

Впровадження нових технологій потребує створення адекватних математичних моделей процесів у мультисервісних мережах (МСМ) [1, 2]. Як показують експериментальні дані, властивості мережного трафіка МСМ, що спостерігаються на практиці, досить складно інтерпретувати за допомогою методів статистичного аналізу, характерних для ustalених режимів роботи мережних застосунків [3, 4]. Це утруднює розуміння механізмів утворення віртуальних з'єднань і розробку нових управляючих протоколів.

Необхідна розробка конструктивних математичних моделей мережних процесів, що враховують особливості, які є істотними для цілей дослідження, з метою подальшого використання їх для розробки нових методів проектування високошвидкісних комп'ютерних мереж [5-7]. Зростаюча складність і підвищення вимог до якості функціонування МСМ сприяли застосуванню методів фрактального аналізу, які ґрунтуються використанні властивостей масштабної інваріантності процесів, які спостерігаються (самоподібності других статистичних моментів, що характеризують кореляційні зв'язки між подіями). Однією із задач, що виникає при використанні у моделях мультисервісних мереж фрактальних методів аналізу, є визначення характеру відхилення трафіка від стаціонарного режиму, тому що неврахування степеневих хвостів використовуваних розподілів призводить до суттєвих розходжень значень моде-

льованого та реального трафіка МСМ [8?9]. Тому **метою даної статті** є проведення аналізу статистичних властивостей узагальненого броунівського руху (УБР), враховуючих степеневий характер хвостів розподілів і дозволяючих визначити характер відхилення трафіка мультисервісних мережах від стаціонарного режиму.

### Результати досліджень

Розглянемо можливості дослідження властивостей масштабної інваріантності мережних процесів за допомогою стохастичних моделей узагальненого броунівського руху. Для цього поділимо інтервал спостереження на частини завдовжки  $\delta = 2^{-N}$  ( $N$  – загальна кількість станів даного процесу). У результаті функція розподілу даного випадкового процесу характеризуватиметься певною кількістю елементів  $N_i$ , які доводяться на  $i$ -й інтервал спостереження довжиною  $\delta$ .

Введемо величину  $\mu_i = N_i/N$ . Множина всіх частин  $M = \{\mu_i\}_{i=0}^{N-1}$  дає повний опис поточної реалізації трафіка при його спостереженні з роздільною здатністю  $\delta$ . Проте, якщо множина  $M$  має властивість масштабної інваріантності, то за допомогою одержаного розподілу можна описати імовірнісні характеристики не тільки цієї реалізації процесу. Зокрема, ці властивості складають основу статистичної моделі броунівського руху (стохастичного вінерівського процесу). Зазвичай у фізичних процесах такий рух пов'язують з переміщенням деякої частинки внаслідок її зіткнення з молекулами середовища. Стосовно мережного трафіка таке переміщення можна пов'язати з обробкою даних у проміжних вузлах віртуальних каналів, де відбувається процес їх статистичного мультиплексування, що призводить до варіацій затримок у розповсюдженні пакетів. При розгляді моделі класичного броунівського руху маса частинки вважається відомою і рівною  $m$ . Тому рівняння для швидкості її руху  $B(t)$  має такий вигляд:

$$m \frac{dB(t)}{dt} = n(t),$$

де  $n(t)$  – складова сили дії, яка направлена уздовж координати руху частинки.

Згідно із принципом симетрії для математично-го сподівання обурюючої дії  $n(t)$  справедлива умова  $M(n(t))=0$ . Проводячи аналогію з мережним трафіком, відмітимо, що записане вище рівняння руху може розглядатися також стосовно варіації пропускної здатності каналу зв'язку при передачі пакетів фіксованої довжини. Для визначення статистик відхилення інтенсивності трафіка слід врахувати, що час кореляції процесу  $n(t)$  скінченний і не перевершує середнього часу між приходом пакетів  $\tau_0$ . Стосовно до трафіка, у високошвидкісних мультисервісних мережах час передачі пакетів між вузлами мережі значно менше часу знаходження пакетів у буферах проміжних вузлів. Тому величину  $\tau_0$  можна прийняти за час кореляції процесу. Інтервал часу, через який відбувається вимірювання інтенсивності передачі, дорівнює роздільній здатності пристрою спостереження, причому для більшості засобів вимірювання виконується умова  $\Delta t \gg \tau_0$ . Через цю обставину на підставі центральної граничної теореми процес  $n(t)$  можна вважати гаусівським з математичним сподіванням, що дорівнює нулю, і дельтаподібною кореляційною функцією, тобто цей процес можна вважати гаусівським білим шумом.

Повернемося до моделі процесу. Якщо масу частинки пронормувати до одиниці, то вінерівський процес  $B(t)$  можна визначити як розв'язання рівняння  $\frac{dB(t)}{dt} = n(t)$ , де  $B(t_0) = B_0$ . За умови, що  $B_0 = 0$ , рішення можна записати у вигляді

$$B(t) = \int_{t_0}^t dB(\tau) = \int_{t_0}^t n(\tau) d\tau. \quad (1)$$

Враховуючи, що для стаціонарного гаусівського білого шуму з інтенсивністю  $N_0$  справедливі такі співвідношення [7]:

$$M\{n(t)\} = 0; \quad (2)$$

$$K_{2n}(t_1, t_2) = M\{n(t_1) n(t_2)\} = N_0 \delta(t_2 - t_1), \quad (3)$$

то для вінерівського процесу при  $B_0 = 0$  одержимо

$$M[B(t)] = \int_{t_0}^t M[n(\tau)] d\tau = 0; \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \langle B^2(T) \rangle &= D\{B(t)\} = M\{B^2(t)\} = \\ &= \int_{t_0}^t \int_{t_0}^t M\{n(\tau_1) n(\tau_2)\} d\tau_1 d\tau_2 = N_0 \cdot t; \end{aligned} \quad (5)$$

$$K_{2B}(t_1, t_2) =$$

$$= \int_{t_0}^{t_2} \int_{t_0}^{t_1} M\{n(\tau_1) n(\tau_2)\} d\tau_1 d\tau_2 = N_0 \cdot \min(t_1, t_2). \quad (6)$$

З урахуванням виразу (5) процес  $B(t)$  є нестационарним, а співвідношення (6) може бути представлено в такому аналітичному вигляді:

$$\begin{aligned} K_{2\Theta}(t_1, t_2) &= \\ &= \int_{t_0}^{t_2} \int_{t_0}^{t_1} M[n(\tau_1) n(\tau_2)] d\tau_1 d\tau_2 = \\ &= N_0 \cdot \min(t_1, t_2) = \frac{N_0}{2} (t_1 + t_2 - |t_2 - t_1|). \end{aligned} \quad (7)$$

Через прийняті припущення щільність розподілу  $B(t)$  є гаусівською і має вигляд

$$\begin{aligned} f(B(t)) &= \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi N_0 t}} \exp\left\{-\frac{B^2(t)}{2D[B(t)]}\right\}, \quad t > 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Таким чином, вінерівський процес може бути визначений як гаусівський процес з нульовим математичним сподіванням і кореляційною функцією (7). Зазначимо, що нестационарний характер процесу  $B(t)$  утруднює його дослідження в якості моделі, адекватної реальному мережному процесу. Визначимо приріст вінерівського процесу для моментів часу  $t_2 > t_1 > t_0 > 0$  за допомогою формули

$$B(t_1) - B(t_0) = \int_{t_0}^{t_1} n(\tau) d\tau. \quad (9)$$

Враховуючи отримані вирази (4) і (5), можна записати такі вирази для математичного сподівання і дисперсії процесу приросту значень броунівського руху:

$$m_B = M[B(t_1) - B(t_0)] = 0; \quad (10)$$

$$\begin{aligned} D_B &= \delta_B^2 = M\{(B(t_1) - B(t_0))^2\} = \\ &= N_0 (t_1 - t_0) \sim t_1 - t_0. \end{aligned} \quad (11)$$

Розглянемо властивості одержаного процесу з урахуванням того, що на практиці спостереження проводяться із скінченною роздільною здатністю. Нехай координата процесу реєструється у кожен проміжок часу  $k\tau$ , де  $k$  – довільне ціле число. Виберемо  $k = 2$  (рис. 1).

У цьому випадку приріст координати  $\xi$  дорівнює сумі двох незалежних приростів  $\xi'$  та  $\xi''$  на інтервалі  $t = 2\tau$  і для нього може бути задана функція розподілу

$$F(\xi, \tau) = \frac{1}{\sqrt{2\pi 2D_B \tau}} \exp\left\{-\frac{\xi^2}{2 \cdot 2D_B \tau}\right\}.$$

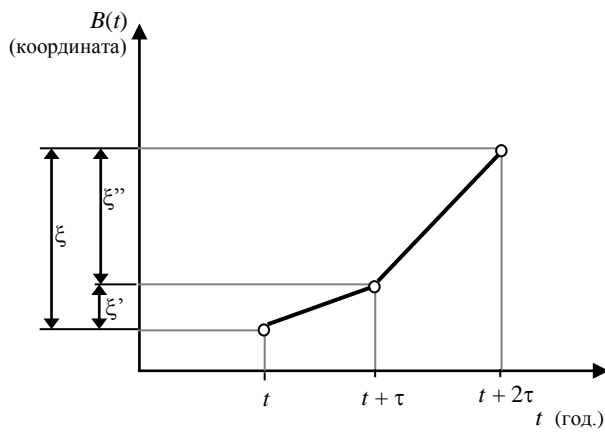


Рис. 1. Приріст координати броунівського руху за час  $2\tau$

Взаємна кореляційна функція процесу приростів при виконанні умови  $t_2 > t_1 > t_0 > 0$  розраховується як

$$\begin{aligned} M[(\Theta(t_2) - \Theta(t_1))(\Theta(t_1) - \Theta(t_0))] &= \\ = k(t_1, t_2) - k_2(t_1, t_1) - k_2(t_2, t_0) + k_2(t_1, t_0) &= (12) \\ = N_0 t_1 - N_0 t_1 - N_0 t_0 + N_0 t_0 &= 0. \end{aligned}$$

Таким чином, прирости  $B(t)$  є корельованими, а зважаючи на гаусівський характер щільності розподілу (8) вони також є незалежними. Тому у загальному випадку щільність розподілу приростів має вигляд

$$\begin{aligned} f(B(t) - B(t_0)) &= \\ = \frac{1}{\sqrt{2\pi N_0(t-t_0)}} \exp\left\{-\frac{(B(t) - B(t_0))^2}{2N_0(t-t_0)}\right\}. \end{aligned}$$

Очевидно, що одержана щільність розподілу має властивість масштабної інваріантності або самоподібності.

Дійсно, сумісна ймовірність того, що перший приріст  $\xi'$  поміщено в інтервалі  $[\xi', \xi' + d\xi']$ , а другий,  $\xi''$  – в інтервалі  $[\xi'', \xi'' + d\xi'']$  дорівнює

$$P(\xi', \xi'', \tau) = P(\xi', \tau) P(\xi'', \tau).$$

Інтегрування за всіма можливими комбінаціями  $\xi'$  і  $\xi''$  призводить до такого виразу для щільності ймовірності значень:

$$\begin{aligned} f(\xi, 2\tau) &= \int_{-\infty}^{+\infty} p(\xi - \xi', \tau) d\xi' = \\ &= \frac{1}{\sqrt{4\pi D_B 2\tau}} \exp\left\{-\frac{\xi^2}{4D_B 2\tau}\right\}. \end{aligned}$$

Таким чином, приріст координати частинки залишається гаусівським випадковим процесом з нульовим математичним сподіванням  $\langle \xi \rangle = 0$ , але із збільшеною дисперсією. У разі довільного інтервалу  $k\tau$  одержимо

$$f(\xi, k\tau) = \frac{1}{\sqrt{4\pi D_B k\tau}} \exp\left\{-\frac{\xi^2}{4D_B k\tau}\right\}.$$

Цю властивість подібності функції розподілу можна виразити в явному вигляді, ввівши нову змінну, тобто змінивши масштаб часу в  $k$  разів, а масштаб вимірювання – координати у  $k^{1/2}$  разів. У результаті одержимо таке співвідношення подібності:

$$p(k^{1/2}\xi, k\tau) = p(\xi^*, \tau^*) = k^{-1/2} p(\xi, \tau).$$

Іншими словами, якщо змінити масштаб часу спостереження процесу в  $k$  разів, то дисперсія також зміниться в  $k$  разів і буде дорівнювати  $D_B = N_0 k(t-t_0)$ . Тому для виконання умови нормування щільності розподілу необхідно змінити масштаб приросту вінерівського процесу в  $k^{1/2}$  разів.

У результаті проведених перетворень зрозуміло, що даний процес є інваріантним щодо функції щільності розподілу для перетворення, яке змінює масштаб часу в  $k$  разів, а масштаб координат – у  $k^{1/2}$  разів. Щільність розподілу приростів для зміненого масштабу часу можна записати у вигляді

$$\begin{aligned} f[k^{1/2}[B(kt) - B(kt_0)]] &= \\ \frac{1}{\sqrt{2\pi N_0 k(t-t_0)}} \exp\left\{-\frac{[k^{1/2}(B(t) - B(t_0))]^2}{2N_0 k(t-t_0)}\right\}, \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} k^{1/2} f[k^{1/2}[B(kt) - B(kt_0)]] &= \\ = f[B(t) - B(t_0)]. \end{aligned} \quad (13)$$

Можна зробити висновок, що щільність ймовірності розподілу відмасштабованого вінерівського процесу, поділена на коефіцієнт  $k^{1/2}$ , не залежить від вибраного масштабу часу. Таким чином, умова самоподібності цього стохастичного процесу виконується щодо рівності за розподілом

$$k^{1/2}(B(kt) - B(kt_0)) = B(t) - B(t_0).$$

Наведене вище показує, що випадкову функцію переміщення  $B(t)$  можна задати за допомогою нормально розподіленого випадкового процесу з незалежними значеннями  $\{\xi\}$ . У цьому випадку приріст координати броунівської частинки залежить від величини  $|t-t_0|$  і визначається виразом

$$\Delta B(t) = B(t) - B(t_0) \sim \xi |t-t_0|^H = \xi k^H \tau^H$$

для будь-якої пари моментів часу  $t$  та  $t_0$  і параметра  $H = 1/2$ .

Природним узагальненням введеного поняття броунівського руху є заміна параметра  $H = 1/2$  на будь-яке дійсне число з інтервалу  $0 < H < 1$ . Такий рух позначається як  $B_H(t)$  і називається фрактальним броунівським рухом (фрактальним вінерівським процесом). З урахуванням властивостей вінерівського процесу:

$$M\{dB(\tau)\} = 0;$$



$$M\{dB(\tau_1) dB(\tau_2)\} = M\{n(\tau_1) n(\tau_2)\} d\tau_1 d\tau_2 = N_0 \delta(\tau_2 - \tau_1) d\tau_1 d\tau_2$$

одержимо статистики для фрактального процесу у вигляді

$$m_H = 0; \quad (14)$$

$$D_H = \sigma_H^2 = \left\langle [B_H(t) - B_H(t_0)]^2 \right\rangle = 2D\tau \left( \frac{\tau k}{\tau} \right)^{2H} = 2D\tau \left( \frac{|t-t_0|}{\tau} \right)^{2H} \sim |t-t_0|^{2H}. \quad (15)$$

Таким чином, приріст  $B_H(t)$  є гаусівським процесом з математичним сподіванням, що дорівнює нулю, і дисперсією (15). У порівнянні з (10) зміна дисперсії відповідно до (15) відбувається таким чином:

- при  $H < 1/2$  – швидше;
- при  $H > 1/2$  – повільніше.

Для реальних процесів у комп'ютерних мережах має місце умова  $S < H < 1$ , що вказує на їх статистично протяжний характер.

Для визначення характеру властивостей масштабної інваріантності обчислимо нормовану кореляційну функцію (коефіцієнт кореляції) приростів  $B_H(t)$  для двох інтервалів часу  $(t_0, t)$  і  $(t, 2t)$ , які не перетинаються.

Відповідно до визначення, запишемо вираз для коефіцієнта кореляції

$$r_H(t) = \frac{M[(B_H(t) - B_H(t_0))(B_H(2t) - B_H(t))]}{M[(B_H(t) - B_H(t_0))^2]}.$$

За умови  $B_H(t_0) = 0$  одержимо спрощений вираз

$$r_H(t) = \frac{M[\Theta_H(t)\Theta_H(2t)] - M[\Theta_H^2(t)]}{M[\Theta_H^2(t)]}. \quad (16)$$

Цей вираз можна записати також у вигляді

$$r_H(t) = \frac{M\{B_1 \cdot B_2\}}{M\{B_H^2(t)\}} - 1 = 2^{2H-1} - 1, \quad (17)$$

$$B_1 = B_H(t) - B_H(2t) + B_H(t);$$

$$B_2 = B_H(2t) - B_H(t) + B_H(t).$$

На підставі (17) і враховуючи, що

$$M[\Theta_H^2(t)] = t^{2H},$$

можна записати вираз для кореляційної функції:

$$k_{2H}(t) = (2^{2H-1} - 1)t^{2H}. \quad (18)$$

При  $H = 1/2$  маємо  $r_H(t) = 0$  для будь-яких значень  $t$ . Проте при  $H \neq 1/2$  маємо (незалежно від  $t$ )  $r_H(t) \neq 0$ . Так, якщо  $H > 1/2$ , то в імовірнісному сенсі в процесі підтримується  $t$  тенденція, що є у

момент часу  $t$ . Якщо прирости були позитивними, то і надалі в середньому відбуватиметься збільшення координат процесу. Таким чином, для процесу з  $H > 1/2$  тенденція до збільшення координат у минулому означає тенденцію до збільшення в майбутньому і ця властивість процесу в імовірнісному сенсі справедлива для довільно великих  $t$ . При  $H < 1/2$  зростання приростів у минулому означає зменшення в майбутньому, а тенденція до зменшення у минулому робить ймовірним збільшення в майбутньому. За аналогією з (1), випадкову функцію  $B_H(t)$  можна виразити через прирости гаусівського випадкового процесу  $B(t)$  таким чином:

$$B_H(t) = \frac{1}{\Gamma(H+1/2)} \int_{-t}^t (t-t')^{H-1/2} dB(t'), \quad (19)$$

де  $\Gamma(x)$  – гамма функція. Згідно з (19), значення випадкової функції у момент часу  $t$  залежить від всіх попередніх приростів  $dB(t')$  звичайного гаусівського випадкового процесу  $B_H(t)$  з нульовим середнім і одиничною дисперсією. Проте при  $t^* \rightarrow -\infty$  цей інтеграл розходиться. Тому подінтегральний вираз необхідно модифікувати так:

$$B_H(t) = \frac{1}{\Gamma(H+1/2)} \int_{-t}^t (t-t')^{H-1/2} dB(t') = \frac{1}{\Gamma(H+1/2)} \int_{-\infty}^t h(t-t') dB(t'), \quad (20)$$

$$\text{де } h(t-t') = \begin{cases} (t-t')^{H-1/2}, & 0 \leq t' \leq t; \\ (t-t')^{H-1/2} - (-t')^{H-1/2}, & t' > 0. \end{cases}$$

Останній вираз для  $B_H(t)$  має вигляд рівняння згортки, яке розглянуто у [8].

Відмітимо, що при  $H = 1/2$  формула (20) є формою запису операції дробового інтегрування. Використовуючи степеневий характер зміни імпульсної перехідної функції або властивість її масштабної інваріантності, запишемо, що

$$h(kt - k\tau) = k^{H-1/2} h(t - \tau).$$

З цього співвідношення виходить, що для вінерівського процесу є вірним

$$dB(k\tau) = k^{1/2} dB(\tau). \quad (21)$$

Тому на основі (20) можна записати вираз:

$$B_H(k\tau) = k^H B_H(\tau)$$

або

$$k^{-H} B_H(k\tau) = B_H(t), \quad (22)$$

що найчіткіше виражає самоподібний характер процесу  $B_H(t)$ .

Перейдемо до розгляду статистик процесу  $B_H(t)$  для випадку дискретного часу.

Використовуючи (19), можна записати вираз для кореляційної функції фрактального вінерівського процесу у вигляді

$$k_{2H}(t_1, t_2) \sim 1/2 \left[ t_1^{2H} + t_2^{2H} - |t_2 - t_1|^{2H} \right]. \quad (23)$$

На інтервалах заданої тривалості  $T$  для дискретних моментів спостереження  $(t_n, t_n - T)$  і  $(t_{n+k}, t_{n+k} - T)$ , що рознесені на час  $kT$ , нормована розрахункова статистика другого порядку має вигляд

$$r(k, T) \sim \frac{1}{2} \left[ (k+1)^{\alpha+1} - 2k^{\alpha+1} + (k-1)^{\alpha+1} \right]. \quad (24)$$

При  $k = 1$  і враховуючи, що  $\alpha = 2H - 1$ :

$$r(1, T) \sim \frac{1}{2} \left[ 2^{2H} - 2 \right] = 2^{2H-1} - 1. \quad (25)$$

Останній вираз збігається з (17), що свідчить про збереження фрактального характеру зміни розрахункових статистик, породжених безперервним стохастичним процесом  $B_H(t)$ . При великих  $k$  і  $T$  коефіцієнт кореляції апроксимується виразом

$$r(k; T) \sim \frac{1}{2} \alpha (\alpha + 1) k^{\alpha-1} = H(2H-1) k^{2H-2}, \quad (26)$$

з якого випливає, що чим більше значення параметра  $H$ , тим більш протяжною залежністю характеризуються властивості даного випадкового процесу.

## Висновки

У статті запропонований підхід до розрахунку коефіцієнта кореляції фрактального трафіка, який базується на аналізі фрактальних властивостей мережних процесів. Для розрахунку використовується модель узагальненого броунівського руху. При цьому використовується операція дробового інтегрування броунівського руху із ядром, що має вигляд степеневі функції із дробовим показником, а отриманий вираз показує залежність степеневого хвоста розподілу від параметра Херста.

**Напрямок подальших досліджень** є проведення аналізу динамічних процесів у віртуальних ТСП-з'єднаннях з метою вибору параметрів транспортних протоколів, які підвищать продуктивність мережних застосунків.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Sobieraj M., Stasiak M., Weissenberg J. Analytical model of the single threshold mechanism with hysteresis for multi-service networks. *IEICE Transactions on Communications*. 2012. Vol. E95.B, No. 1. P. 120–132.
2. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V. Improving Big Data Centers Energy Efficiency: Traffic Based Model and Method / Kharchenko V., Kondratenko Y., Kasprzyk J. (eds) *Green IT Engineering: Social, Business and Industrial Applications. Studies in Systems, Decision and Control*. Vol 171. Cham: Springer, 2019. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
3. Кучук Н. Г. Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних / Н. Г. Кучук, В. Ю. Мерлак, В. В. Скороделов // *Сучасні інформаційні системи = Advanced Information Systems*. – 2020. – Т. 4, № 1. – С. 97-102. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.14>
4. Kuchuk N., Mozhaiev O., Mozhaiev M., Kuchuk N. Method for calculating of R-learning traffic peakedness. *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017 – Proceedings*. 2017. P. 359-362. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>
5. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структури 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>
6. 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>
7. 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>
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 Н.Г., Гавриленко С.Ю., Лукова-Чуйко Н.В., Собчук В.В. Перерозподіл інформаційних потоків у гіперконвенгентній 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>

Received (Надійшла) 25.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.05.2021

## Method of calculating the correlation coefficient of fractal traffic

Heorhii Kuchuk, Pavlo Pustovoiyov, Oleh Lebedev, Volodymyr Lymarenko

**Abstract.** The properties of network traffic of multiservice networks, which are observed in practice today, are quite difficult to interpret using the methods of statistical analysis, characteristic of the established modes of operation of network applications. Typically, backbone traffic focused on the simultaneous maintenance of information flows is often fractal in nature. This makes it impossible to obtain traffic characteristics by conventional approaches. In particular, problems arise in determining the statistical characteristics of the second order. The article proposes an approach to the calculation of the correlation coefficient of fractal traffic, which is based on the analysis of fractal properties of network processes. The model of generalized Brownian motion is used for calculation. This uses the operation of fractional integration of Brownian motion with the kernel, which has the form of a power function with a fractional exponent, and the resulting expression shows the dependence of the power tail of the distribution on the Hearst parameter. The proposed method allows to perform an analytical assessment of the correlation coefficient, as well as to determine the degree of fractal properties of this random process.

**Keywords:** multiservice network; Brownian motion; traffic; correlation coefficient.

І. М. Майборода, М. О. Глущенко, В. Д. Лазарев

Національна академія Національної гвардії України, Харків

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЦИФРОВИХ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ

**Анотація.** Технічне обслуговування є основним заходом, що проводиться в процесі технічної експлуатації особовим складом підрозділів зв'язку на техніці для забезпечення високої бойової готовності та експлуатаційної надійності засобів зв'язку. Ефективність проведення технічного обслуговування багато в чому залежить від чіткого знання обслуговуючим персоналом обсягу, змісту, організації та технології проведення певних заходів. **Мета роботи** – провести порівняльний аналіз систем технічного обслуговування армій країн членів НАТО та Національної гвардії України, на основі якого розробити рекомендації щодо втілення методики проведення технічного обслуговування цифрових засобів зв'язку підрозділів Національної гвардії України. В статті проводиться аналіз заходів технічного забезпечення, що наведені в інструкціях з експлуатації радіостанцій виробництва HARRIS, які стали основними в процесі модернізації системи зв'язку Національної гвардії України. Розглянуті основні види технічного обслуговування відповідного обладнання на всіх рівнях. За результатами проведеного в статті аналізу визначені найбільш ефективні види технічного обслуговування цифрових засобів зв'язку та порядок проведення відповідних технологічних операцій. Результати статті можуть бути використані в процесі розробки та введення в дію належним чином інструкцій та положень з технічного обслуговування цифрових засобів зв'язку в Національній гвардії України.

**Ключові слова:** система зв'язку; цифрові засоби зв'язку; технічне обслуговування; експлуатаційна надійність.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Необхідність наближення системи експлуатації та технічного обслуговування (ТО) техніки зв'язку Національної гвардії України (НГУ) до стандартів НАТО обумовлює спрямування основних зусиль з розвитку системи зв'язку на її модернізацію та переоснащення, особливо в тактичній ланці управління, тобто сегменті, який безпосередньо використовується при веденні бойових дій та при виконанні інших службово-бойових завдань підрозділами НГУ.

В цьому контексті останнім часом частини та підрозділи НГУ активно оснащують новітнім та модернізованим озброєнням, військовою та спеціальною технікою, спеціальними засобами та обладнанням з урахуванням їх потреб [1], в тому числі сучасними цифровими засобами зв'язку виробництва HARRIS та засобами інформатизації, що дозволяє забезпечити якісне виконання першочергових завдань з управління військами.

Незважаючи на це, утворився розрив між науково-технічними досягненнями в сфері цифрових засобів зв'язку і практичними рекомендаціями щодо технології проведення ТО [2, 3].

Це пов'язано, в першу чергу, з відсутністю комплексного підходу щодо методики проведення ТО на цифрових засобах зв'язку в підрозділах НГУ, а також із відсутністю відповідних керівних документів та повного комплексу технічної документації на зарубіжні цифрові засоби зв'язку [5-11], доступного особовому складу. З цих причин завдання технічного забезпечення щодо проведення заходів технічної експлуатації техніки зв'язку командири підрозділів вирішують самостійно, спираючись на особистий досвід, інтуїцію та на свій розсуд.

В загальному процесі технічної експлуатації обслуговування є основним заходом, який про-

дить особовий склад на техніці для забезпечення високої бойової готовності та експлуатаційної надійності засобів зв'язку [2].

Висока ефективність проведення технічного обслуговування визначається низкою факторів, в тому числі твердим знанням обслуговуючим персоналом обсягу, змісту, організації та технології проведення заходів з ТО, а також розумінням особовим складом свого обов'язку та почуття відповідальності за підтримку високої бойової готовності довіреної йому техніки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Практика експлуатації аналогового парку техніки зв'язку до початку ООС на сході України свідчить про те, що питання проведення ТО були розглянуті досить детально, але ця техніка морально і технічно застаріла, вичерпала свій експлуатаційний ресурс та не відповідає вимогам забезпечення зв'язку в сучасних умовах ведення бою, її експлуатація та ремонт економічно недоцільні, а велика кількість елементів, що входять до її складу вже не виробляється промисловістю [3]. У статті [4] був проведений аналіз системи технічного забезпечення засобів зв'язку і автоматизації, враховуючи потребу наближення системи військового управління Збройних Сил України до стандартів НАТО.

Аналіз робіт офіційного представника компанії HARRIS в Україні ТОВ «РАДІО САТКОМ ГРУП» [4-10] дозволив зробити висновок про значні відмінності у підходах щодо технічного обслуговування радіостанцій «Harris» та технічного обслуговування аналогової техніки зв'язку Національної гвардії України У [2], що стало підтвердженням необхідності розробки напрямків удосконалення діючої системи ТО цифрових засобів зв'язку.

**Метою статті** є проведення порівняльного аналізу систем технічного обслуговування армій країн членів НАТО та Національної гвардії України,

розробка рекомендацій щодо напрямків удосконалення діючої системи технічного обслуговування та втілення методики проведення технічного обслуговування цифрових засобів зв'язку підрозділів Національної гвардії України.

### Виклад основного матеріалу

Технічне обслуговування озброєння та військової техніки - комплекс операцій чи операція підтримання справності чи працездатності озброєння та військової техніки під час його технічної експлуатації [12]. Основні завдання технічного обслуговування наведено на рис. 1.

Перелік та зміст операцій, які проводяться під час технічного обслуговування техніки зв'язку,

визначаються для кожного зразка особисто. Вони залежать від складності та надійності засобу зв'язку, особливостей конструкції, потрібної боєздатності та безвідмовності функціонування, а також зовнішніх умов, під впливом яких знаходиться засіб зв'язку в процесі бойового застосування.

Для старого аналогового парку техніки зв'язку згідно з Положенням про технічне забезпечення зв'язку в Національній гвардії України передбачено такі види ТО:

- контрольний огляд (КО);
- щоденне технічне обслуговування (ЩТО);
- технічне обслуговування № 1 (ТО-1);
- технічне обслуговування № 2 (ТО-2);
- сезонне технічне обслуговування (СО).

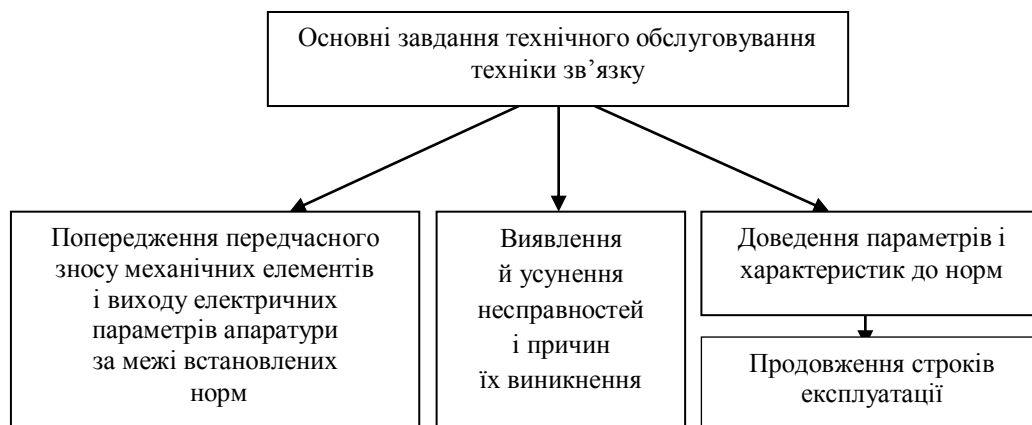


Рис. 1. Основні завдання технічного обслуговування техніки зв'язку

Досвід практики у військах доводить, що основними недоліками з організації технічного забезпечення засобів зв'язку та інформатизації нині є:

- велике число видів ТО;
- низька ефективність профілактичних робіт;
- великий обсяг і вартість ТО;
- неврахування структури об'єкту і, як наслідок, неоптимальність і неузгодженість режимів обслуговування різних функціонально пов'язаних підсистем, що входять до одного зразку техніки зв'язку.

Проведений аналіз заходів технічного забезпечення, які наведені в роботах ТОВ «РАДІО САТ-КОМ ГРУП» для радіостанцій виробництва HARRIS [4-10], показав, що основними для них вважається два види технічного обслуговування (профілактичне і позапланове), та три рівні обслуговування.

Профілактичне обслуговування (ПрО) – це вид обслуговування, який здійснюється за графіком. Під час профілактики проводиться перевірка обладнання з метою запобігання виходу з ладу і зменшення часу простою.

ПрО полягає в утриманні обладнання в чистоту та сухому стані, очищеному від пилу. Обладнання, яке використовується має оглядатися щоденно, при цьому потрібно виконати вбудовані тести, перевірити надійність під'єднання батарейного відсіку і чистоту вентиляційного клапана, а також надійність під'єднання кабелів та роз'ємів до трансівера і антенної системи.

Якщо обладнання щодня не використовується, то його огляд та виконання відповідних процедур має проводитися щотижня. Перелік робіт при цьому включає в себе огляд антени на наявність зламів і розтягнень (за потреби необхідно відремонтувати чи замінити), огляд роз'ємів на предмет корозії чи пошкоджень, перевірку хисних ковпачків.

ПрО крім щоденного та щотижневого обслуговування передбачає і щорічне обслуговування, під час якого проводиться перевірка в повному обсязі роботи радіостанції та заміна батареї HUB (HoldUpBattery).

Позапланове технічне обслуговування (ПЗО) проводиться, коли під час ПрО, чи під час роботи радіостанції, були виявлені ті чи інші несправності, або той чи інший дефект, тобто за необхідністю.

Компанією Harris, на відміну від системи ТО, що діє в НГУ, передбачається три рівні обслуговування.

Перший рівень передбачає визначення рівня працездатності обладнання (виконується оператором без застосування додаткового обладнання).

На другому рівні визначається працездатність обладнання радіостанції (виконується оператором із застосуванням додаткового обладнання).

Третій рівень передбачає визначення працездатності обладнання до модуля у пристрої (виконується сертифікованим персоналом із застосуванням обладнання спеціалізованого автомобіля).

Загальний аналіз заходів технічної експлуатації новітніх цифрових засобів зв'язку та практика їх застосування показали, що для них більш притаманним має бути дещо інший перелік видів технічного обслуговування:

- щоденне технічне обслуговування;

- щотижневе технічне обслуговування;  
- технічне обслуговування за необхідністю;  
- позапланове технічне обслуговування.

Сумісний зміст видів і заходів з ТО старого парку техніки зв'язку та цифрових засобів зв'язку наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Сумісний зміст видів і заходів з ТО старого парку техніки зв'язку та цифрових засобів зв'язку

Види ТО аналогової техніки зв'язку	Види ТО цифрових засобів зв'язку	Операції ТО цифрових засобів зв'язку
Щоденне технічне обслуговування	Щоденне технічне обслуговування	Самотестування радіостанції
ТО-1	Щотижневе технічне обслуговування	Періодичний візуальний огляд і очищення радіостанції без її розкриття
	Технічне обслуговування за необхідністю	Очищення, перевірка та заміна засобів живлення
ТО-2	Позапланове технічне обслуговування	Проведення ТО при сервісному обслуговуванні або ремонті

Методика проведення щоденного, щотижневого та ТО за необхідністю цифрових засобів зв'язку має передбачати виконання наступних основних операцій силами особового складу, що експлуатує техніку зв'язку:

самотестування радіостанцій,  
візуальний огляд,  
очищення техніки,  
перевірка та заміна засобів живлення.

Самотестування необхідно виконувати згідно інструкції з експлуатації для визначеного типу радіостанції за вбудованими тестами з метою визначення працездатності основних вузлів.

Візуальний огляд проводиться з метою перевірки зовнішнього стану радіостанції на відсутність пошкоджень, деформації, бруду на поверхні радіостанції, корозії, наявності та цілісності всіх роз'ємів та складових радіостанції.

Очищення зовнішніх поверхонь радіостанції проводиться якщо періодичний візуальний огляд показав забрудненість або запиленість. Очищення здійснюють тільки після відключення радіостанції від мережі живлення. Для очищення зовнішніх поверхонь радіостанцій зазвичай використовують миючий 0,5% розчин для миття посуду і м'яку абсорбуючу тканину або серветки для сушки поверхні радіостанції. При цьому необхідно забезпечити умови, щоб миючий засіб не проникав в отвори відкритих роз'ємів і з'єднань.

ТО за необхідності проводять після взаємодії радіостанції з прісною або солоною водою. Для цього від'єднують акумуляторну батарею та промивають її чистою прісною водою, витирають насухо м'якою тканиною для запобігання корозії.

Якщо має місце корозія, контакти очищують за допомогою нейлонового сітчастого абразивного матеріалу або аналогічним засобом. Позолочені роз'єми радіостанції чистити категорично заборонено.

В разі необхідності заміни засобів живлення, після від'єднання та заміни основної батареї, якщо радіостанція не забезпечує збереження завантажених даних (запрограмованих параметрів, інформацію та ключів шифрування), необхідно замінити батарею HUB.

Рекомендується замінити батарею HUB кожні 12 місяців.

Позапланове ТО або ремонт повинні проводитися тільки в сервісному центрі кваліфікованим персоналом в таких випадках:

користувач виконав вбудовані тести і виявив несправність радіостанції;  
під час роботи радіостанції з'явилася повідомлення про несправність;

користувач помітив погіршення якості роботи радіостанції.

При ТО в сервісному центрі рекомендується проводити очищення внутрішніх компонентів радіостанції ізопропіленовим спиртом (70% або 100%) із застосуванням неметалевих короткошерстих щіток для видалення прилиплих речовин, а для сушіння радіостанції використовують м'яку абсорбуючу не ворсисту тканину. При цьому слідкують, щоб миючий розчин не проникав у отвори відкритих роз'ємів і з'єднань, а керуючі компоненти не заливало спиртовим розчином. Для прискорення процесу висихання заборонено використання повітря під високим тиском, так як це може призвести до конденсації розчину в небажаних місцях.

Не рекомендується застосовувати ізопропіленовий спирт, аерозольні спреї та інші хімічні речовини для чищення корпусів радіостанції, що може негативно впливати на деякі види пластика. Для запобігання забруднення речовинами від попереднього використання завжди використовують новий розчин спирту і чистий контейнер.

### Висновок

Отже, основними напрямками удосконалення системи ТО цифрових засобів зв'язку в НГУ пропонується вважати: визначення головної мети ТО в процесі експлуатації цифрових засобів зв'язку, які надходять на озброєння; визначення сукупності взаємопов'язаних засобів, виконавців і документації з ТО, призначеної для підтримання справного і працездатного стану техніки зв'язку; оптимізація періодичності та видів ТО цифрових засобів зв'язку з визначенням методик проведення кожного із них.

Якісна підготовка та проведення ТО є гарантом забезпечення високої бойової готовності техніки

зв'язку та її безвідмовної роботи при використанні за призначенням. Її порядок і послідовність установлює командир підрозділу з урахуванням конкретних умов, але при організації обслуговування в кожному разі необхідно керуватися наступними засадами:

- постановкою конкретних завдань особовому складу на проведення ТО; у першу чергу виконуються роботи, що відновлюють бойову готовність радіостанцій;

- аналізом причин відмов і вжиттям заходів, які виключають їх повторення;

- твердим знанням усім особовим складом обсягу робіт і методики технічного обслуговування, виконанням їх у точній відповідності до встановлених вимог.

Викладена методика може бути рекомендована до використання особовим складом підрозділів зв'язку НГУ до розробки та введення в дію належним чином відповідних інструкцій ТО цифрових засобів зв'язку, що стоять на озброєнні.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Розпорядження Кабінету міністрів України від 1 лютого 2017 р. № 100-р. Концепція розвитку Національної гвардії на період до 2020 року. Київ.
2. Положення про технічне забезпечення зв'язку в Національній гвардії України. Наказ МВС № 1384 від 06.11.2015 - с. 60.
3. Михайлов О.В., Дехтяр С.В., Кайдаш І.Н. Удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту засобів зв'язку і автоматизації // Междисциплинарные исследования в науке и образовании. – 2012. – № 1 Кв ;URL.
4. Люлін Д.О., Михайлов О.В., Кайдаш І.Н. Удосконалення системи технічного забезпечення засобів зв'язку і автоматизації // Збірник наукових праць ВІПІ НТУУ „КПІ” № 2 – 2011, с.68-75.
5. RF-7800 V- НН. УКХ портативна радіостанція. Посібник з експлуатації. PUBLICATION NUMBER: 10515-0461-4200. Тов. «РАДІО САТКОМ ГРУП». MARCH 2014
6. MPR-9600. Тактична короткохвильова радіостанція. Інструкція з експлуатації. PUBLICATION NUMBER: 10515-0228-4200. Тов. «РАДІО САТКОМ ГРУП». JUNE 2011
7. RF-7850M-НН. Багатодіапазонна мережева портативна радіостанція. Посібник з експлуатації. PUBLICATION NUMBER: 10515-0461-4200. Тов. «РАДІО САТКОМ ГРУП». OCTOBER 2015
8. RF-7800H-MP. Тактична КХ радіостанція. Посібник з експлуатації. PUBLICATION NUMBER: 10515-0413-4100. Тов. «РАДІО САТКОМ ГРУП». FEBRUARY 2016
9. RF-5800H-MP. Тактична КХ радіостанція. Посібник з експлуатації. PUBLICATION NUMBER: 10515-0413-4100. Тов. «РАДІО САТКОМ ГРУП». FEBRUARY 2016
10. RF-7800V-V51X. УКХ автомобільна/стаціонарна радіостанція. Посібник з експлуатації. PUBLICATION NUMBER: 10515-0397-4100. Тов. «РАДІО САТКОМ ГРУП». OCTOBER 2015
11. RF-7800V-B51X. УКХ автомобільна/стаціонарна радіостанція. Посібник з експлуатації. PUBLICATION NUMBER: 10515-0397-4100 Тов. «РАДІО САТКОМ ГРУП». SEPTEMBER 2016
12. ДСТУ В 3577-97. Види технічного обслуговування. Заміна комплектувальних виробів. Загальні положення.- Київ. Держстандарт України, 1998.- 10 с.

Received (Надійшла) 07.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 14.04.2021

### Methods of maintenance of digital means of communication

I. Mayboroda, M. Glushchenko, V. Lazarev

**Abstract.** Maintenance is the main event carried out during the technical operation of the personnel of communication units on the equipment to ensure high combat readiness and operational reliability of communication means. The effectiveness of maintenance depends largely on a clear knowledge of the scope, content, organization and technology of certain events by the attendants. **The purpose** of the work is to conduct a comparative analysis of the systems of to armies of NATO member countries and the National Guard of Ukraine (NGU), on the basis of which to develop recommendations for the implementation of the methodology for conducting digital communications of NGU units. The article analyzes the technical support measures given in the instructions for the operation of harris radio stations, which became the main in the process of modernization of the NGU communication system. The main types of maintenance equipment of the corresponding equipment at all levels are considered. According to the results of the analysis carried out in the article, the most effective types of digital communication equipment and the procedure for carrying out relevant technological operations are determined. The results of the article can be used in the process of developing and enacting properly instructions and regulations on the technical means of communication in NGU.

**Keywords:** communication system; digital communication means; maintenance; operational reliability.

В. О. Одінцов

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна.

## РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОПТИМІЗАЦІЇ ОПРОМІНЮВАЧА ПАРАБОЛІЧНОЇ АНТЕНИ ДІАПАЗОНУ 4,5 – 4,7 ГГц

**Анотація.** У статті розроблена методика конструктивного синтезу рупора з окремих провідників для оптимізації характеристик опромінювача параболічної антени діапазону 4,5–4,7 ГГц перспективної радіорелейно-тропосферної станції зв'язку, яка основана на математичному апараті, що враховує відомий метод теорії антен – наведених ЕРС. Цей метод дає змогу визначити наведені та власні опори довільно розташованих вібраторів, а також амплітуди та фази струмів у цих вібраторах та отримав подальший розвиток для розрахунку рупорів, що будуються з окремих провідників. Завдання методики формулюється зокрема так: для заданої просторової діаграми спрямованості антенної системи засобу радіозв'язку та діаграми спрямованості дзеркала (відбивача) антенної станції потрібно визначити діаграму спрямованості опромінювача (розв'язати зовнішню задачу теорії антен) та знайти конструкцію рупора з окремих провідників, що реалізує необхідний вид амплітудно-фазового розподілу електромагнітного поля у розкриві рупора (розв'язати внутрішню задачу теорії антен). Об'єктом дослідження є рупор з окремих провідників, конструктивною особливістю якого є зміна його геометричних розмірів, характеристики якого відповідають цільнометалевому рупору. Результатом практичного використання методики є запропонований опромінювач параболічної антени для перспективної радіорелейно-тропосферної станції зв'язку у вигляді конічного рупора. Особливістю конструкції конічного рупора є те, що він складається з окремих провідників, які змінюють довжину, що у свою чергу дає змогу змінювати загальні геометричні розміри рупора. Властивості розробленого конічного рупора відповідають властивостям цільнометалевого рупора з аналогічними електричними характеристиками. Методику доцільно застосовувати в загальній теорії антен для конструктивного (інженерного) синтезу рупорних антен з окремих провідників за заданими електричними характеристиками.

**Ключові слова:** параболічна антена; рупор з окремих провідників; опромінювач, розрахунок.

### Вступ

Для конструктивного синтезу обрано опромінювач параболічної антени на основі рупора діапазону 4,5–4,7 ГГц, побудований на основі окремих провідників із змінною геометрією для антенної системи перспективної радіорелейно-тропосферної станції спецзв'язку. Для такої станції побудуємо новий опромінювач на основі рупорної антени, побудованої з окремих провідників відповідно до заданих технічних характеристик.

**Постановка завдання.** Завдання методики формулюється зокрема так: для заданої просторової ДС антенної системи засобу радіозв'язку та діаграми спрямованості дзеркала (відбивача) АС потрібно визначити ДС опромінювача (розв'язати зовнішню задачу теорії антен) та знайти конструкцію рупора з окремих провідників, що реалізує необхідний вид амплітудно-фазового розподілу ЕМП у розкриві рупора (розв'язати внутрішню задачу теорії антен).

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Суміжною з даною тематикою, було проведення НДР "МІРАЖ" над якою працювали співробітники НДІ технологій кібербезпеки Держспецзв'язку та ІСЗІ КПШ ім. Ігоря Сікорського, результати якого були успішними та доведеними але мають місце на вдосконалення - розробка більш зручних в експлуатації антен з розширенням можливостей (наприклад сканування діаграмою спрямованості). Класичною задачею синтезу є пошук амплітудно-фазового розподілу струму або електромагнітного поля (ЕМП) в розкриві антени, відповідно до заданих електричних характеристик АС [5]. При вирішенні такої задачі тип відби-

вача особливого значення не має, важливим є знання характеристик опромінюючої антени [6, 7]. Самою методикою оптимізації опромінювача параболічної антени як такої до нашого часу не існує, тому передумовами створення методики є складність розв'язання електродинамічних задач для цільнометалевого рупора методом наведених ЕРС, та відсутність математичного апарату для конструктивного синтезу рупора з окремих провідників [4-7, 10].

Методика призначена для побудови рупорної антени з окремих провідників як опромінювача параболічної антени перспективної радіорелейно-тропосферної станції зв'язку.

### Основна частина

Об'єктом дослідження є рупор з окремих провідників, конструктивною особливістю якого є зміна його геометричних розмірів, характеристики якого відповідають цільнометалевому рупору.

Основними обмеженнями є те, що для опромінювання параболічних антен засобів зв'язку розглядаються випромінювачі на основі рупорних антен, які синтезуються з окремих провідників.

Головним припущенням є те, що цільнометалевий рупор можна представити у вигляді рупора, побудованого з окремих провідників, відстань між якими становить менше ніж  $1/20$  робочої довжини хвилі. Таке значення отримано практичними дослідженнями за умов того, що взаємні струми, які виникають у двох окремих провідниках відповідають струмам, які виникають на цільнометалевій поверхні.

Показником є відповідність електричних характеристик розробленого за методикою конструктив-



ного синтезу рупора з окремих провідників характеристикам аналогічного за розмірами цільнометалевого кінцевого рупора, діаграма спрямованості якого вимірюється практичними дослідженнями. Оцінку критерію відповідності електричних характеристик доцільно проводити за показником – ширини діаграми спрямованості рупору.

Структура методики синтезу рупорних антен з окремих провідників:

Математичний апарат:

- Метод наведених ЕРС;
- Рівняння Максвелла;
- Теорія диполя Герца;

Етапи методики:

1 Запропонувати розгляд суцільно металевого рупора у вигляді рупора з окремих провідників.

2 Розрахунок поля випромінювання рупора як суперпозицію полів від окремих провідників.

3 Порівняння результатів розрахунку суцільнометалевого рупора з окремих провідників.

**Вхідні дані:**

- діапазони робочих частот;
- потужність передавача РРТ станції;
- ДС антенної системи станції зв'язку антенної системи станції зв'язку;
- конструкція та характеристики дзеркала АС;
- опромінювач параболічної антени для АС;

**Результат:**

Опромінювач параболічної антени для АС перспективної РРТ станції зв'язку у вигляді кінцевого рупора з окремих провідників, що змінює що змінює геометричні розміри.

**Обмеження:**

цільнометалевий рупор можна представити у вигляді рупора, побудованого з окремих провідників, відстань між якими становить менше ніж  $1/20$  робочої довжини хвилі.

**Припущення:**

цільнометалевий рупор можна представити у вигляді рупора, побудованого з окремих провідників, відстань між якими становить менше ніж  $1/20$  робочої довжини хвилі. Вихідними даними для методики є діапазони робочих частот та потужність передавача перспективної радіорелейно-тропосферної станції зв'язку, характеристики діаграми спрямованості всієї антенної системи станції зв'язку, конструкція та характеристики дзеркала (відбивача) АС.

Перспективним напрямом синтезу антен є побудова опромінювачів параболічних антен на основі рупорів із змінною геометрією для станцій радіозв'язку, але, на сьогодні, методи синтезу таких антен є складними у практичному застосуванні, а методика конструктивного синтезу рупорів зі змінною геометрією не розроблені.

В якості конструкції пропонуються кінчні рупори, що складаються з окремих елементів (провідників), що змінюють геометричну довжину на основі вібраторів або провідників, що створюють бігучу хвилю. Живлення такого рупора доцільно здійснювати за допомогою закороченого відрізка колового хвильоводу, в якому розміщений вібратор (шпир) живлення.

Використання одного вібратора живлення дає змогу сформувати електромагнітну хвилю лінійної поляризації, а розміщення другого вібратора живлення у перпендикулярній площині формує ЕМХ колової поляризації. У подальшому при розрахунках будемо вважати, що використовується тільки ЕМХ лінійної поляризації.

Математичний апарат, який використовується для конструктивного синтезу рупора з окремих провідників для оптимізації характеристик опромінювача параболічної антени діапазону 4,5–4,7 ГГц перспективної радіорелейно-тропосферної станції зв'язку базується на відомому методі наведених ЕРС.

Математична модель конструктивного синтезу рупора з окремих провідників описана далі:

1. З урахуванням частотного діапазону обирається діаметр живлячого хвильоводу:

$$\lambda_{кр} (H_{1,1}) = \frac{2\pi a}{y_{1,1}}, \quad (1)$$

$$\lambda_{кр} (E_{01}) = \frac{2\pi a}{x_{01}}, \quad (2)$$

де  $y_{1,1}$  – перший корінь похідної функції Бесселя першого порядку;  $x_{01}$  – нульовий корінь функції Бесселя першого роду.

2. Вибір математичного апарату згідно методу наведених ЕРС:

$$\begin{cases} U_1 = I_1 Z_{11} + I_2 Z_{12} + \dots + I_n Z_{1n}; \\ U_2 = I_1 Z_{12} + I_2 Z_{22} + \dots + I_n Z_{2n}; \\ U_n = I_1 Z_{1n} + I_2 Z_{n2} + \dots + I_n Z_{nn}, \end{cases} \quad (3)$$

де  $Z_{mm}$  – власний опір конкретного вібратора;  $Z_{mn}$  – взаємний опір  $m$ -го і  $n$ -го вібраторів;  $U_m$  – напруга на конкретному вібраторі;  $I_m$  – струм на конкретному вібраторі, який необхідно знайти

3. З урахуванням розрахунку власних та взаємних опорів для запропонованої антенної решітки система матиме такий вигляд:

$$\begin{cases} U_1 = I_1 Z_{1\text{власне}} + I_m \Delta Z_{12} + \dots + I_n \Delta Z_{1-25}; \\ 0 = I_1 (Z_{1\text{власне}} + \Delta Z_{12}) + I_m \Delta Z_{\text{власне}} + \\ + \dots + I_n (Z_{\text{власне}} + \Delta Z); \\ \dots \\ 0 = I_1 (Z_{1\text{власне}} + \Delta Z_{1n}) + I_m \Delta Z + \\ + \dots + I_n (Z_{\text{власне}}); \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} U_1 = I_1 Z_{\text{власне}} + I_n (24 \Delta Z_{1-25}); \\ 0 = I_1 \Delta Z_{1-25} + I_n (Z_{\text{власне}} + 24 \Delta Z); \\ \dots \\ 0 = I_1 \Delta Z_{1-25} + I_n (Z_{\text{власне}} + 24 \Delta Z), \end{cases} \quad (5)$$

де  $Z_{mn}$  – взаємні опори між вібраторами. Визначаються з графіків або з таблиць Пістолькорса. З урахуванням наших допущень, система перейде в іншу систему;  $\Delta Z$  – взаємні опори будуть визначатися, як середні взаємні опори (це для попереднього розрахунку);  $\Delta Z_1$  – взаємний опір 1-го і  $n$ -го вібратора;  $\Delta Z_n$  – взаємний опір між двома будь-якими вібраторами зі складу рупору.

4. Усереднивши взаємні опори вібраторів врахуємо, що у нас тільки 2 невідомих  $I_1$  та  $I_m$ . Знайдемо особисті та взаємні опори

$$\begin{cases} U_1 = I_1 Z_{1\text{власне}} + I_n 24 \Delta Z_{1-25}; \\ O = I_1 \Delta Z_{1-25} + I_n (Z_{\text{власне}} + 24 \Delta Z), \end{cases} \quad (6)$$

де  $Z_{1\text{власне}} \approx -200 \text{ Ом}; Z_{\text{власне}} \approx 2000 \text{ Ом}; \Delta Z_{1-25} \approx 4 \text{ Ом}; \Delta Z \approx 1,2 \text{ Ом}.$

5. Підставивши значення отримаємо:

$$\begin{cases} U_1 = -I_1 \times 200 \text{ Ом} + I_n \times 96 \text{ Ом}; \\ O = I_1 \times 40 + I_n \times 2028 \text{ Ом}. \end{cases} \quad (7)$$

6. Отриманий результат підставимо в формулу напруженості поля кожної пластини:

$$E_m = \frac{0.15 U_1}{r} \times \frac{\cos\left[\left(180^\circ \frac{l}{\lambda}\right) \sin(\theta + \varphi_{\text{розкр}})\right] * \cos\left(180^\circ \frac{l}{\lambda}\right)}{\cos(\theta + \varphi_{\text{розкр}})}. \quad (8)$$

7. Знайдемо поле випромінювання живлячої жили:

$$E_n = \frac{2 * U_1}{r} \times \frac{\cos\left[\left(180^\circ \frac{l}{\lambda}\right) \sin(\theta + \varphi_{\text{розкр}})\right] - \cos\left(180^\circ \frac{l}{\lambda}\right)}{\cos(\theta + \varphi_{\text{розкр}})}. \quad (9)$$

8. Знайдемо загальне поле випромінювання рупора:

$$E_{\text{рупора}} = E_n + E_{\text{ж}}. \quad (10)$$

9. Оцінка порівняння розрахунків рупорів:

$$E_{\text{рупора}} = \frac{0.15 v_1}{1 - \sin(\theta + \varphi)} \times \frac{r}{\lambda} \sin[180^\circ \frac{l}{\lambda} (1 - \sin(\theta + \varphi))]. \quad (11)$$

Порядок реалізації методики:

1 Запропонувати конструкцію рупора з окремих провідників на основі цільнометалевого рупора.

2 Розрахунок рупора з окремих провідників як системи випромінювачів, що створюють загальне поле випромінювання.

3 Порівняння розрахунків рупорів з окремих провідників та суцільнометалевих з однаковими довжинами та кутами розкриву рупору.

Розсувні провідники, з яких складається рупор з окремих провідників є його продовженням приєднаним до опору навантаження через діелектричну прокладку товщиною  $\frac{\lambda}{4}$ .

Товщина прокладки є змінним (за товщиною) фактором. При товщині прокладки  $\frac{\lambda}{4}$  основне випромінювання буде являти собою суму напів воронки з провалом в напрузі провідника рупора. При цьому передбачається, що можна зменшити кількість вібраторів.

Загальне випромінювання буде складатися з випромінювання жили та випромінювання на ділянці провідників на поверхні рупора випромінювання жили буде визначатися також як і для вібраторного рупора струм на пластині рупора буде визначатися так само, а вісь випромінювання буде розраховуватися за виразом для проводу з бігучою хвилею струму:

$$E_{\text{пр}} = \frac{60 I_{\text{пр}}}{r} \times \frac{\sin \varphi}{1 - \cos \Psi} \times \sin[180^\circ \frac{l}{\lambda} (1 - \cos \varphi)] \quad (12)$$

для нашого випадку з урахуванням кута розкриву рупору формула зміниться

$$E_{\text{рупора}} = \frac{0.15 v_1}{r} \times \frac{\cos(\theta + \varphi)}{1 - \sin(\theta + \varphi)} \times \sin[180^\circ \frac{l}{\lambda} (1 - \sin(\theta + \varphi))], \quad (13)$$

тут вже враховано що рупор має 25 провідників з бігучою хвилею струму.

З попередніх розрахунків можна зробити наступні висновки:

Розрахунки рупора вібраторного типу і рупора з провідників з бігучою хвилею струму якісно збігається з розрахунком цільнометалевого рупора, тобто відстежується тенденція звуження ДС зі збільшенням кута розкриву (рис. 1):

$$E = E_{\text{рупора}} + E_{\text{ж}}. \quad (14)$$

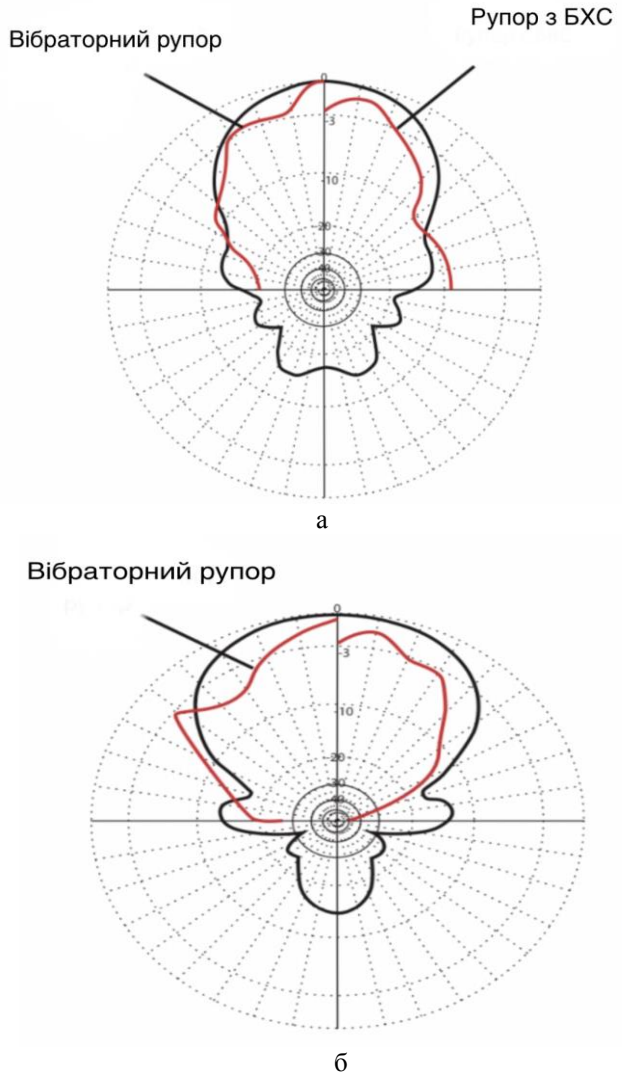


Рис. 1. Діаграма спрямованості:  
а – з розкритом 20°  
б – з розкритом 30°

Є можливість розглядати цільнометалевий рупор у вигляді рупора з окремих провідників і розраховувати його по більш простий методиці.

Провал в напрямку осі рупора з провідників з бігучою хвилею струму, пояснюється тим що нахил ДС такого провідника залежить не тільки від кута розкриття по та від відношення довжини рупора до його довжини хвилі.

Простіше за все такий рупор підбирати експериментальним шляхом. Діаграма у вертикальній площині не було сенсу розраховувати так як був використований живильний елемент набагато менше довжини хвилі.

### Висновки

Результатом практичного використання методики є запропонований опромінювач параболічної антени для АС перспективної радіорелейно-

тропосферної станції зв'язку у вигляді конічного рупора.

Особливістю конструкції конічного рупора є те, що він складається з окремих провідників, які змінюють довжину, що у свою чергу дає змогу змінювати загальні геометричні розміри рупора. Властивості розробленого конічного рупора відповідають властивостям цільнометалевого рупора з аналогічними електричними характеристиками.

Також можна спростити важкі і великі методи розрахунку цільнометалевого рупора, представити його рупором із окремих провідників, а потім розрахувати за допомогою спрощеного методу навідних ЕРС.

Методику доцільно застосовувати в загальній теорії антен для конструктивного (інженерного) синтезу рупорних антен з окремих провідників за заданими електричними характеристиками.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Антени телекомунікаційних і моніторингових систем. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Слободянюк П.В., Благодарний В.Г.; за ред Ільницького Л.Я. Київ : ТехноПоліграф, 2012. 240 с.
2. Проблемы антенной техники. Воскресенский Д.И., Бей Н.А., Братчиков Н.А. и др. ; под ред. Л.Д. Бахрака. Москва : Радио и связь, 1989. 386 с.
3. Минкович Б.М., Яковлев В.П. Теория синтеза антенн. Москва : Советское радио, 1969. 298 с.
4. Бондаренко Л.В. Синтез антенн. Владивосток : ДВГТУ, 2009. 130с.
5. Наумов Н. Д. Оптимизированный метод расчета рупорной антенны. Москва: Успехи прикладной физики, 2017, Том 5, № 5. 17 с.
6. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. Москва : Радио и связь, 1989. 356 с.
7. Жук М.С., Молочков Ю.Б. Проектирование антенно-фидерных устройств. Москва: Энергия, 1966. 648 с.
8. Ільницький Л.Я., Савченко О.Я., Сібрук Л. В. Антени та пристрої надвисоких частот. Київ : Укртелеком, 2003. 496 с.
9. Закин И.П., Тощий А.В., Абрамов С.К. Проектирование антенных устройств систем связи. Учеб. пособие. Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2007. 78 с.
10. Клоков В. В., Павликов С.Н. Рупорные антенны: методические указания к лабораторным работам. Владивосток : Морской государственный университет имени адм. Г. И. Невельского, 2008. 34 с.

Received (Надійшла) 18.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 19.05.2021

### Development of a technique for a radiator of a parabolic antenna in the range of 4.5-4.7 GHz

Vladislav Odintsov

**Abstract.** The article develops a method of constructive synthesis of a loudspeaker from individual conductors to optimize the characteristics of the irradiator of a parabolic antenna in the range of 4.5-4.7 GHz promising radio relay-tropospheric communication station, which is based on a mathematical apparatus that takes into account the known method of antenna theory. This method makes it possible to determine the induced and intrinsic resistances of arbitrarily located vibrators, as well as the amplitudes and phases of currents in these vibrators and has been further developed for the calculation of horns built from individual conductors. The task of the technique is formulated in particular as follows: for a given spatial pattern of the antenna system of the radio and the pattern of the mirror (reflector) of the antenna station you need to determine the pattern of the irradiator (solve the external problem of antenna theory) and find the design of the mouthpiece the required type of amplitude-phase distribution of the electromagnetic field in the opening of the horn (to solve the internal problem of antenna theory). The object of the study is a loudspeaker made of individual conductors, the design feature of which is a change in its geometric dimensions, the characteristics of which correspond to an all-metal loudspeaker. The result of the practical application of the technique is the proposed parabolic antenna irradiator for a promising radio relay-tropospheric communication station in the form of a conical horn. The peculiarity of the design of the conical horn is that it consists of individual conductors that change the length, which in turn allows you to change the overall geometric dimensions of the horn. The peculiarity of the design of the conical horn is that it consists of individual conductors that change the length, which in turn allows you to change the overall geometric dimensions of the horn. The properties of the developed conical horn correspond to the properties of an all-metal horn with similar electrical characteristics. The technique should be used in the general theory of antennas for constructive (engineering) synthesis of horn antennas from individual conductors according to the specified electrical characteristics.

**Keywords:** parabolic antenna; horn with separate conductors; emitter; calculation.

В. М. Почерняєв<sup>1</sup>, В. В. Зайченко<sup>2</sup>, В. С. Повхліб<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Одеса, Україна

<sup>2</sup> Київський коледж зв'язку, Київ, Україна

## СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ КОМБІНОВАНОЇ РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

**Анотація.** В статті розглянуто система управління, контролю та діагностики комбінованої радіотехнічної системи з позиції теорії складних систем. Наведено конкретні приклади комбінованих радіотехнічних систем для яких необхідна розробка єдиних систем управління, контролю та діагностики. Приведено структурну схему мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції, що відноситься до комбінованих радіотехнічних систем. Функціонування такої станції потребує урахування особливостей поширення радіохвиль у багатопроменовому тропосферному каналі з завмираннями. Тому, єдина система управління, контролю та діагностики повинна мати у своєму складі імітатор багатопроменового каналу з завмираннями. Така єдина система управління, контролю та діагностики сама по собі стає складною системою. Тому при її проектуванні запропоновано використовувати метод декомпозиції, що дозволяє виділити її окремі підсистеми. При цьому слід враховувати, що застосування імітатора багатопроменового каналу з завмираннями приводить до сильно розгалуженої структури. Так багатопроменовим каналом з завмираннями є тропосферний канал. Особливістю тропосферного каналу є наявність швидких завмирань сигналу, що потребує для обробки даних значного обчислювального ресурсу, а значить зменшення точок його розгалуження. Зменшення точок розгалуження обчислювального процесу такої складної структури також дозволяє підтримувати пропускну здатність службових каналів, каналів телеуправління та телесигналізації на рівні вимог до їх якості передавання. Наведено конкретний розрахунок зменшення точок розгалуження обчислювальної процедури шляхом застосування методу декомпозиції. В статті також показані напрями перспективних науково-технічних розробок в області створення комбінованих радіотехнічних систем.

**Ключові слова:** система управління; контролю та діагностики; комбінована радіотехнічна система; мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція; тропосферний канал; імітатор багатопроменового каналу з завмираннями; метод декомпозиції.

### Вступ

Створення комбінованих систем є одним з ключових завдань розвитку сучасних радіотехнічних систем. Комбінованою радіотехнічною системою будемо називати таку систему, яка складається з різних за функціонуванням частин, але яка має спільний (спільні) пристрої управління, контролю, формування, обробки тощо.

Наприклад, мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція (МЦТрРРС) складається з тропосферної компоненти ТК (фактично станції) та радіорелейної компоненти РРК (також фактично станції), але має єдину систему управління та спільний тракт формування частот [1, 2].

Іншим прикладом є система, на якій базується організація повітряного руху цивільної авіації, яка виконує задачу оцінки координат та параметрів руху об'єктів, що маневрують. Така задача в наш час розв'язується на основі суміщення функцій управління радіонавігаційними та радіолокаційними пристроями.

Автоматизація процесу рішення такої комплексної задачі висуває жорсткі вимоги до технічних характеристик засобів спостереження за об'єктами, що маневрують, точності навігаційних параметрів та якості траєкторної обробки. Ці вимоги в основному стосуються супроводу об'єктів, що маневрують, їх координат та вектора швидкості.

Можна виділити наступні комбіновані радіотехнічні системи для управління повітряним рухом:

- трасові засоби радіонавігації у вхідних та вихідних коридорах повітряних зон + трасові радіоло-

катори, що призначені для отримання інформації про коридори повітряних суден;

- радіонавігаційне обладнання для входу в район аеропорту (аеродрому) + аеродромний радіолокатор;

- радіонавігаційне обладнання для проведення маневру при здійсненні посадки повітряним судном + радіолокатор, що здійснює посадку.

Багатофункціональні радіолокаційні станції (РЛС), що здатні виконувати функції виявлення, точного вимірювання координат, супроводу, уточнення траєкторій руху, розпізнання цілей також є прикладом комбінованих радіотехнічних систем.

**Постановка задачі.** В Україні в сфері телекомунікацій проводиться робота по створенню нової комбінованої МЦТрРРС. Науково-технічним завданням для такої радіотехнічної системи є необхідність розробки єдиної системи управління, контролю та діагностики (СУКД). Радіотехнічні системи спеціального призначення (зв'язок, радіолокація, радіонавігація) потребують діагностики траси поширення радіохвиль, а тому СУКД перетворюється в складну систему з обчислювальними процедурами високих порядків. Звідси випливає задача подальшого удосконалення методу декомпозиції на шляху зменшення точок розгалуження обчислювального процесу.

**Аналіз літератури.** Аналіз бібліографічних джерел про системи (пристрої) управління та контролю показав, що найбільш близькими за методом вирішення подібних завдань є наукові дослідження, які проведені в [3-8]. Огляд сучасних радіотехнічних систем різного призначення [9-17] показав, що на-

прямоком їх розвитку є створення комбінованих комплексів, актуальним завданням для яких є удосконалення СУКД. Серед розглянутих радіотехнічних систем можна виділити наступні:

- авіаційні комплекси і платформи з ретрансляцією інформації через безпілотні літальні апарати [9, 13];
- радіотехнічні системи, що об'єднують різні телематичні служби та інші види трафіку [10];
- телекомунікаційні системи та радіолокаційні системи пошуку і виявлення об'єктів [11, 12, 14];
- наземні транспортні засоби, що поєднують LIDAR, датчики ІК-випромінювання та лазерні пристрої [15].

Аналіз цих літературних джерел показує, що комбіновані радіотехнічні системи мають досить широке застосування.

Тому, розробка комбінованих радіотехнічних систем, як наприклад, МЦТрРРС є актуальною задачею. А створення єдиної СУКД для таких систем потребує наукового супроводу.

**Невирішені питання.** Ключовим завданням розробки єдиної СУКД для МЦТрРРС є створення пристрою контролю та діагностики радіоканалу з імітатором багатопроменевого каналу з замираннями.

Такий імітатор повинен бути невід'ємною частиною єдиної СУКД комбінованої радіотехнічної системи, сигнали якої поширюються по багатопроменевому каналу.

Це в свою чергу вимагає спрощення обчислювального процесу при контролі та діагностиці багатопроменевого тропосферного каналу з замираннями. Розв'язати таке завдання можна шляхом застосування методу декомпозиції для зменшення то-

чок розгалуження обчислювального процесу в єдиній СУКД. Під радіоканалом розуміється траса поширення радіохвиль, по якій функціонує комбінована радіотехнічна система з єдиною системою управління, контролю та діагностики.

**Мета статті.** Метою даної статті є формування науково-обґрунтованого підходу до створення єдиної системи управління, контролю та діагностики комбінованої радіотехнічної системи, що містить імітатор багатопроменевого каналу з замираннями, шляхом застосування методу декомпозиції, що передбачає реалізацію процедури зменшення точок розгалуження обчислювального процесу.

### Виклад основного матеріалу

**Загальний підхід до дослідження системи управління, контролю та діагностики мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції як комбінованої радіотехнічної системи.** Дослідження функціонування системи управління, контролю та діагностики мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції як комбінованої радіотехнічної системи здійснюється із застосуванням принципів і методів теорії складних систем [4]. На різних етапах дослідження багаторівневих систем вирішуються різного роду науково-технічні, вартісні або конструкторсько-технологічні завдання.

Для опису системи задаються взаємно-однозначні відповідності між носіями підсистем багаторівневої системи. Якщо не існує взаємно-однозначної відповідності між носіями, то така система вважається складною.

На рис. 1 показана спрощена структурна схема мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції [1].

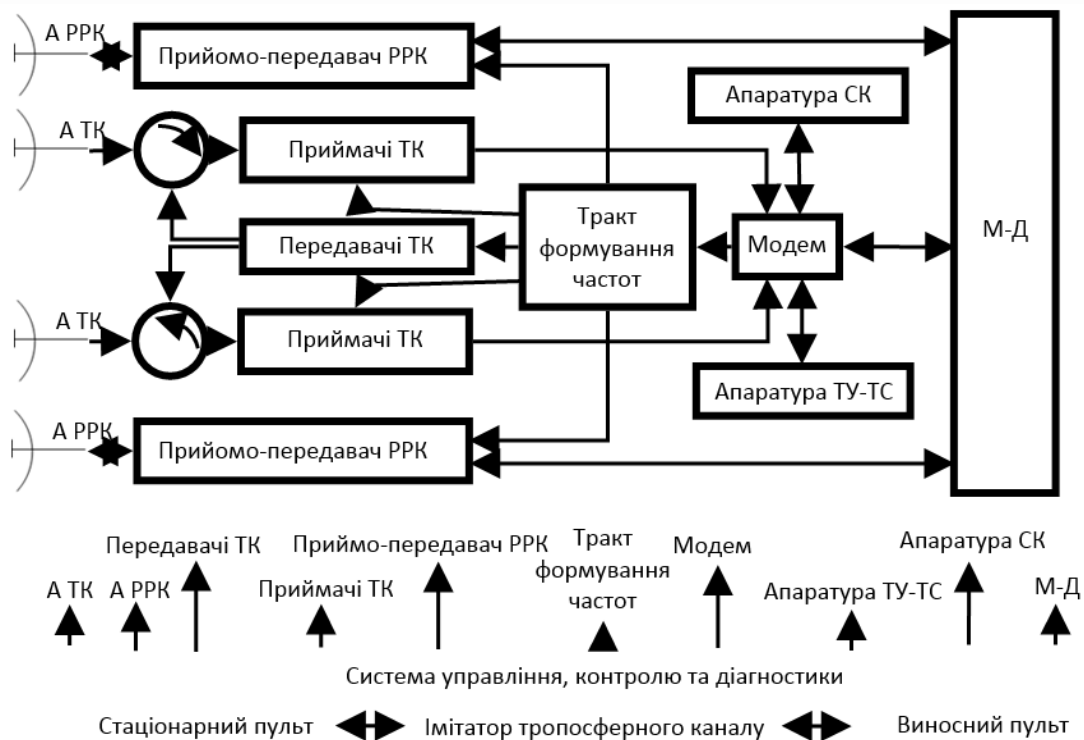


Рис. 1. Спрощена структурна схема мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції

На схемі рис. 1 позначено:

А ТК – антени тропосферної компоненти;

А РРК – антени радіорелейної компоненти;

апаратура СК – апаратура службових каналів;

апаратура ТУ-ТС – апаратура телеуправління-телесигналізації;

М-Д – мультиплексор-демультиплексор.

Як видно з рис. 1 мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція є комбінованою радіотехнічною системою з багаторівневою структурою і являє собою об'єкт теорії складних систем. Відповідно до теорії складних систем така станція включає цілий ряд підсистем різного призначення.

У даній роботі аналізу піддається система управління, контролю та діагностики, як одна із складових частин мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції і як підсистема комбінованої радіотехнічної системи.

Новим науково-технічним фрагментом є те, що СУКД наземної радіотехнічної системи НВЧ діапазону включає імітатор багатопроменевого каналу із завмираннями як базовий пристрій контролю та діагностики радіоканалу. Такий пристрій в свою чергу взаємодіє з модемом станції, який представляє собою іншу підсистему комбінованої радіотехнічної системи.

Відмітимо, що моделювання процесів управління та контролю мобільних радіотехнічних систем розглядалось в [2].

На рис. 1 [2, с. 18] показано, що процес управління та контролю управління має розгалужену структуру.

Одним з ефективних способів перетворення таких структур є метод декомпозиції.

Математичний опис моделі комбінованої радіотехнічної системи з взаємодією двох підсистем, у нашому випадку СУКД з імітатором та модема, можна представити у вигляді рівняння згортки:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t-\tau)d\tau, \quad (1)$$

де  $h(\tau)$  – імпульсна характеристика багатопроменевого каналу, який реалізує вбудований в систему управління, контролю та діагностики імітатор. Рівняння (1) може бути представлено у вигляді:

$$y(t) = Px(t-\tau), \quad (2)$$

де  $P = [C, h(\tau)]$ ,  $C$  – алгебраїчне перетворення у вигляді згортки.

У застосуванні методу декомпозиції для досліджуваної комбінованої радіотехнічної системи обмежимося взаємодією двох підсистем – СУКД, що містить імітатор багатопроменевого каналу з завмираннями, і модему. Математично це з урахуванням виразу (2) можна записати в такий спосіб:

$$xPy \Leftrightarrow [(xP_1q) \cap (qP_2y)]. \quad (3)$$

У виразі (3) позначено:

$P_1$  – набір обчислювальних операцій, які здійснюються модемом,

$P_2$  – набір обчислювальних операцій, які здійснюються системою управління, контролю та діагностики.

Метод декомпозиції дозволяє уявити вихідну систему у вигляді добутку двох підсистем, заданих співвідношеннями  $P_1$  і  $P_2$ . При цьому вводиться нова множина  $Q$  – модулі СУКД, що складається з підмножин  $Q_1, \dots, Q_n$ .

При побудові структури декомпозиції процесу управління, контролю та діагностики вводимо наступні набори обчислювальних операцій:

$X_1$  – визначає операції імітатора;

$X_2$  – визначає операції апаратури СК;

$X_3$  – визначає операції апаратури ТУ-ТС;

$X_4$  – визначає операції пультів управління (функціонує або стаціонарний, або виносний).

Даний спосіб декомпозиції заснований на введенні добутку відношень.

Визначимо найменше число співмножників добутку відношень. Це число співмножників буде називатись порядком системи.

Тоді систему  $n$ -го порядку можна представити у вигляді  $(n-2)$ -систем 3-го порядку:

$$[P_1(Q_1, X_2, X_3)] \cap [P_2(X_1, Q_1, X_4, \dots, X_n)]. \quad (4)$$

Далі одна з підсистем (4) розбивається на добутки відношень до необхідного ієрархічного рівня. Підсистема, що задається підмножиною  $P_2$  розбивається з урахуванням представлення  $P_2$  у вигляді добутку відношень  $P_3$  та  $P_4$ . Тоді маємо:

$$[P_1(Q_1, X_2, X_3)] \cap [P_3(Q_2, Q_1, X_4)] \cap [P_4(Q_2, X_1, X_5, \dots, X_n)]. \quad (5)$$

На  $(k-1)$  кроці на базі виразу (5) отримаємо:

$$P_{2(k-1)} = P_{2(k-1)+1}P_{2(k-1)+2}, \quad k = 1, \dots, n-3.$$

Звідси отримуємо розкладання на добутки відношень систем третього порядку, загальне число яких складає  $(n-2)$ -систем:

$$[P_1(Q_1, X_2, X_3)] \cap [P_3(Q_2, Q_1, X_4)] \cap \dots \cap [P_{2(n-4)+1}(Q_{n-3}, Q_{n-4}, X_{n-2})] \cap [P_{2(n-4)+2}(Q_{n-3}, X_1, X_4)]. \quad (6)$$

З огляду на вираз (6) цей процес можна продовжити. Введення нових змінних необхідно для зв'язку між новоутвореними системами. Але для зв'язку між новоутвореними підсистемами введення нових змінних призводить до зростання числа точок розгалуження.

Тому, важливо знайти при такій декомпозиції спосіб зменшення точок розгалуження обчислювального процесу.

**Зменшення точок розгалуження обчислювальної процедури як спосіб удосконалення методу декомпозиції.** Важливим для подальшого розвитку методу декомпозиції є зменшення точок розгалуження обчислювальної процедури.

Припустимо, що  $I$  одиничне розгалуження, що належить множині розгалужень  $P$ , тобто  $I \in P$ . Тоді



математичне сподівання кількості розгалужень з множини  $P$  визначається величиною

$$\sum_{I \in P} \delta_I.$$

Оцінка зменшення ступеня розгалуження дається величиною [18]:

$$\delta_{розг} = \frac{1+|P|}{\sum_{I \in P} \delta_I}. \quad (7)$$

Трудомісткість побудови подальших операцій визначається найбільшою ступенню розгалуження  $N(m)$ , визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} 1+|P| \leq N(m) &= 1 + C_m^{\lfloor m/2 \rfloor} = \\ &= 1 + m! (\lfloor m/2 \rfloor! (m - \lfloor m/2 \rfloor!)^{-1}), \end{aligned} \quad (8)$$

де  $C_m^{\lfloor m/2 \rfloor}$  – біноміальний коефіцієнт,  $m$  – число рівнів в багаторівневій системі.

Ступінь розгалуження  $N(m)$  по формулі (8) швидко зростає зі збільшенням числа  $m$ , що створює істотні обчислювальні труднощі при вирішенні задач з  $m \gg 1$ .

Чисельник в виразі (7) можна представити в такий спосіб:

$$1+|P| = 1 + C_m^{\lfloor m/2 \rfloor} = 1 + m! \left(\frac{m}{2}\right)!^{-2}. \quad (9)$$

Тоді у відповідності з (9) зменшення ступеня розгалуження визначається величиною:

$$\begin{aligned} \delta_{розг} &= \frac{1 + C_m^{\lfloor m/2 \rfloor}}{\sum_{I \in P} \delta_I} \geq \\ &\geq \frac{(1 + (m/2)^i)(1 + C_m^{\lfloor m/2 \rfloor})}{1 + (m/2)^i + \sum_{j=0}^{m/2} (1 + j^i) C_{\lfloor m/2 \rfloor}^j C_{\lfloor m/2 \rfloor}^{m/2-j}}. \end{aligned}$$

Якщо число  $m=8$ , а налаштувати або регулювати в СУКД необхідно один параметр ( $i=1$ ), то ступінь розгалуження скорочується більш ніж в 1,5 рази на кожному кроці обчислювального процесу:

$$\delta_{розг} \geq \frac{5(1 + C_8^4)}{5 + \sum_{j=0}^4 (1 + j) C_4^j C_4^{4-j}} > 1,6.$$

Ефективність запропонованого способу продемонстровано на прикладі  $m=8$ .

Відмітимо, що особливістю тропосферного каналу є наявність швидких завмирань сигналу, яка потребує для обробки даних значного обчислювального ресурсу, а значить зменшення точок його розгалуження.

Зменшення точок розгалуження обчислювального процесу, яке було отримано вище, для системи управління, контролю та діагностики дозволяє підтримувати пропускну здатність службових каналів, каналів телеуправління та телесигналізації на рівні вимог до їх якості передавання.

## Перспективи подальшого розвитку даного дослідження

Отриманий результат по зменшенню точок розгалуження обчислювального процесу можна поширити на ті комбіновані радіотехнічні системи, які функціонують по багатопроблемним каналам з завмираннями. Для таких систем також доцільно мати в складі системи управління, контролю та діагностики імітатор багатопроблемного каналу з завмираннями.

Тому, цей результат можна застосувати до таких перспективних науково-технічних розробок, як наприклад:

- комбінованих телекомунікаційних платформ, що поєднують різні типи зв'язку – радіорелейний та тропосферний, тропосферний та космічний;
- радіолокаційні станції виявлення цілей, їх розпізнання, супровід та наведення;
- комбіновані радіонавігаційно-радіолокаційні системи управління повітряним рухом.

## Висновки

Багатопроблемний тропосферний канал зв'язку з завмираннями вже сам по собі є складною системою. Це обумовлено умовами поширення радіохвиль, пов'язаними з розсіюванням і багатократним відбиттям їх від неоднорідностей тропосфери. Комбінована радіотехнічна система, яка функціонує по радіоканалам з такими умовами поширення радіохвиль, також, безумовно, є складною системою. Комбінована радіотехнічна система утворює особливий клас складних систем.

Однією з головних підсистем даної системи є система управління, контролю та діагностики. Таким комбінованим радіотехнічним системам, як наприклад приведеним у вступі даної статті, притаманний наступний ряд специфічних властивостей та якостей, що пов'язано з інформаційною взаємодією внутрішніх підсистем. Ускладнення задач та підвищення вимог до таких систем призвело до ускладнення їх структури та процесу функціонування при експлуатації.

Підвищення якості і надійності подібних радіоліній зумовлює необхідність побудови імітатора багатопроблемного каналу із завмираннями як елемента єдиної системи управління, контролю та діагностики. Це призводить в свою чергу до того, що єдина система управління, контролю та діагностики комбінованої радіотехнічної системи також стає складною.

З іншого боку застосування імітатора багатопроблемного каналу з завмираннями приводить до сильно розгалуженої структури. Визначено, що навіть при зміні одного параметру ступінь розгалуження зменшується в 1,5 рази.

З результатів даної роботи випливає, що метод декомпозиції є ефективним методом застосування теорії складних систем при розробці єдиної системи управління, контролю та діагностики комбінованих радіотехнічних систем.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент № 120288 Україна, С2. Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція / В.М. Почерняєв, В.С. Повхліб, В.В. Зайченко; заявл. 29.08.2017; опубл. 11.11.2019. – Бюл. – № 21.
2. Почерняєв В.М. Модель пристрою управління та контролю мобільних радіотехнічних систем / В.М. Почерняєв, В.С. Повхліб // Вісник НТУУ КПІ. Радіотехніка. Радіобудування. – 2017. – № 71. – С. 17-22.
3. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука. – 1975. – 528 с.
4. Моисеев Н.Н. Современное состояние теории исследования операций / под ред. Н.Н. Моисеев. – М.: Наука. – 1979. – 464 с.
5. Dantzig G. Linear programming. Vol. 1. Introduction / G. Dantzig, M. Thapa. - N. Y.: Springer. - 1997. -- 474 p.
6. Dantzig G. Linear Programming. Vol. 2. Theory and extensions / G. Dantzig, M. Thapa. - N. Y.: Springer. - 2003. - 448 p.
7. Sayama H. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems / H. Sayama. - Open SUNY Textbooks. - 2015. - 498 p.
8. Mobus George E. Principles of systems science / George E. Mobus, Michael C. Kalton. - N. Y.: Springer. - 2015. - 792 p.
9. Ananda C. M. General aviation aircraft avionics: Integration & system tests / C.M. Ananda // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. - 2009. - Vol. 24, No. 5. - pp. 19-25.
10. Jattala Imran. Secure automotive telematics system (SATS) / Imran Jattala, Shakeel Durrani, Junaid Farooqi, Ghalib Junjua, Ambreen Shafique, Faisal Hussian, Hassan Mahmood, Nassar Ikram // Eighth International Conference on Digital Information Management (ICDIM 20 13), 10- 12 Sept. 2013, Islamabad, Pakistan.
11. Zou Lin. Development of an automatic test and control system for radar seeker / Lin Zou, Xue-gang Wang // Int. Conference on Automatic Control and Artistic Intelligence (ACAI 2012), March 3-5, 2012, Xiamen, China. - pp. 894-897.
12. I. Halim Bishoy. Smart frequency agility control system using compact microstrip CRLH-TL array structure for communication and radar applications / Bishoy I. Halim, Hassan M. Elkamchouchi, Yasser M. Madany // Antennas & Propagation Conference (LAPC), 14-15 Nov. 2016, Loughborough, UK. - pp. 1-4.
13. R. Blar zquez-Garcira. Smart Relay Architecture for Over-the-Horizon High Quality Communications With Unmanned Aerial Vehicles / Blazquez-Garcira R., Sun X., Burgos-Garcia M., Garcia-Tejero A., Vidal-Alegria J., Fernar ndez-Gonzar lez J.-M., Sierra-Casta ñer M. // IEEE Access. - 2019. - Volume: 7. - pp. 76317-76327.
14. Qiuyue Zhang. Waveform design for a dual-function radarcommunication system based on CE-OFDM-PM signal / Zhang Q., Zhou Y., Zhang L., Gu Y., Zhang J. // IET Radar, Sonar & Navigation. - 2019. -- Volume: 13, Issue: 4. - pp. 566-572.
15. Pallavi Ram Umare. Smart Solution for Traffic Control / Pallavi Ram Umare, Shraddha Ganeshlal Jayswal, Shraddha Rajendra Tambakhe, Prathamesh Dnyaneshwar Upadhye, Nilesh Dnyaneshwar Gulhane // 2019 IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS), 23-25 Feb. 20 19, Singapore, Singapore.
16. Nechausov A., Mamusuç 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>
17. 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>
18. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 383 с.

Received (Надійшла) 04.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.05.2021

**System of management, control and diagnostic for the combined radio engineering system**

V. Pochernyaev, V. Zaichenko, V. Povhlib

**Abstract.** The article considers the monitoring and diagnostic system of a combined radio engineering system from the perspective of the theory of complex systems. Concrete examples of combined radio systems are given, which require the development of unified monitoring and diagnostic systems. The functioning of such the combined radio engineering system as a mobile digital troposcatter-radiorelay station requires taking into account the features of the multipath troposcatter channel with fading. Therefore, the unified monitoring and diagnostic system should include an simulator of a multipath channel with fading. Such the unified system of monitoring and diagnostics itself becomes complex system. From the other side, the use of a fading multipath channel simulator leads to a highly branched structure. Reducing the branch points of the computational process of such a complex structure allows using a simulator that is built into the monitoring and diagnostic system without compromising the quality of information transfer. Also, the construction of a unified monitoring and diagnostic system should take into account control over resource efficiency. The decomposition method is compared with the Bayesian approach in solving the problem of the calculation procedure. It is noted that the Bayesian approach is possible with a sufficient amount of a priori information. A specific calculation of reducing the branch points of a computational procedure by applying the decomposition method is presented. When changing one parameter, the degree of branching decreases by 1.5 times. The article shows the directions of perspective scientific and technical developments, such as: combined telecommunication platforms combining various types of communications - radio relay and troposcatter, troposcatter and space; radar detection of targets, their recognition, tracking and guidance; combined radio-navigation and radar air traffic control systems.

**Keywords:** system of management; control and diagnostics; combined radio engineering system; mobile digital troposcatter-radiorelay station; troposcatter channel; multi-channel dummy simulator with fading; decomposition method.

О. А. Серков<sup>1</sup>, Н. Г. Кучук<sup>1</sup>, Б. О. Лазуренко<sup>1</sup>, А. Е. Горюшкіна<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

<sup>2</sup> Морський університет в Гдині, Гдиня, Польща

## МЕТОД ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ В СИСТЕМІ INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS

**Анотація.** Промислові об'єкти Industrial Internet of Things (IIoT), які використовують сучасні ІТ-технології, при автоматизованому керуванні виробництвом вимагають забезпечення надійності та безпеки інформації. При цьому, для забезпечення високої якості зв'язку слід розширювати пропускну здатність каналів зв'язку, яку обмежено фізичним ресурсом радіочастотного спектру. Це протиріччя запропоновано здолати шляхом застосування технології надширокополосних сигналів, у яких співвідношення між шириною смуги частот та його центральною частиною більше одиниці. Таким чином, випромінювання інформаційного сигналу здійснюють без несучої частоти одночасно у всій смузі частот за умови, коли рівень сигналу нижче рівня шуму. Для передачі інформаційного контенту застосовано метод часового позиційно-імпульсного кодування, за яким кожен інформаційний біт кодується сотнями надкоротких імпульсів, які надходять з визначеною послідовністю. В роботі запропоновано математичні моделі модульованих надширокополосних сигналів, які спостерігають в системах безпроводного зв'язку з автокореляційним прийомом. Вони дозволили виявити особливості залежностей імовірності похибки від нормованого відношення сигнал/завада та бази сигналу. Порівняльний аналіз показав, що найкращу завадостійкість систем серед розглянутих в роботі має система зв'язку, що має часове розділення опорного та інформаційного сигналів. Так, протягом першої половини бітового інтервалу комутатор замикає вихід передавача безпосередньо на генератор надширокополосного сигналу, формуючи опорний сигнал. В середині бітового інтервалу комутатор переключує вихід на одну з двох можливих позицій в залежності від сигналу – «нуль» чи «одиниця», формуючи інформаційну частину надширокополосного сигналу. Необхідно також зазначити, що системи з автокореляційним прийомом та розділеною передачею опорного та інформаційного сигналів забезпечують високий рівень структурної прихованості сигналу, а також надійну передачу цифрової інформації, особливо в умовах дії електромагнітних завад.

**Ключові слова:** IIoT; мобільний зв'язок; завадостійкість; безпека; надширокополосні сигнали.

### Вступ

Система Industrial Internet of Things (IIoT) вимагає надання їй великої кількості каналів зв'язку з високою якістю, які мають високу питому щільність їх розташування у просторі. При цьому основним показником якості безпроводного надширокополосного каналу є відношення сигнал/завада на вході кореляційного приймача. Складність організації взаємозв'язків всередині системи IIoT між окремими її елементами надає перевагу для застосування безпроводного зв'язку. У свою чергу це викликає складності в забезпеченні певного рівня завадостійкості каналів зв'язку, що обумовлено високою щільністю розташування у просторі промислового об'єкту IIoT елементів системи. Їх одночасна робота погіршує внутрішню електромагнітну обстановку, сприяє зниженню якості каналів зв'язку та швидкості передачі інформації, що циркулює в системі [1, 2].

### 1. Аналіз шляхів підвищення показників якості безпроводного зв'язку

Найбільш ефективним шляхом підвищення рівня завадостійкості та швидкості передачі інформації в IIoT є введення частотної надлишковості, яка притаманна сигналам з надширокою смугою частот. В основі застосування таких систем зв'язку знаходиться концепція надширокополосних (НШС) імпульсних сигналів з малою тривалістю [3-7].

За рахунок збільшення смуги частот сигналу підвищується усталеність каналу зв'язку до впливу завад від сусідніх каналів, що забезпечує можливість одночасної роботи в одному частотному діапазоні ве-

ликої кількості каналів зв'язку. Завдяки низькій спектральній щільності сигналу випромінювання при передачі повідомлень та забезпечується високий рівень його енергетичної прихованості і захисту інформації, перевищуючи також можливості звичайних широкополосних систем за щодо швидкості передачі інформації та усталеності до завад. Тому застосування НШС сигналів є пріоритетом у вирішенні проблеми підвищення інформаційних можливостей зв'язку в системі IIoT.

**Метою роботи** є підвищення безпеки, пропускну здатності та завадостійкості розподілених IIoT, що побудовані на ґрунті персональних та локальних мереж з низьким рівнем енергоспоживання в умовах дії природних та штучних завад. Таким чином IIoT є розподіленою системою, яка працює у реальному часі в умовах дії електромагнітних завад із підвищеними вимогами до безпеки та швидкості передачі інформації у безпроводних мережах зв'язку.

### 2. Критерії якості каналу зв'язку

Відмінність НШС системи зв'язку від традиційних вузькополосних є відсутність несучої частоти.

Згідно теорії потенційної завадостійкості [8] характеристика інформаційного сигналу залежить від відношення подвійної енергії сигналу  $E$  до спектральної щільності потужності шуму  $N_0$  та є такою:

$$Q = 2E/N_0 = 2q_0B,$$

де  $q_0 = \frac{E/T}{N_0W}$  – відношення середньої потужності сигналу  $P_{s0} = E/T$  до потужності шуму  $P_{N0} = N_0W$  на вході приймача, а  $B = WT$  є базою сигналу.

Цей критерій завадостійкості багатоканальних систем безпроводного доступу є гранично досяжним для усіх без винятку класів приймальних систем.

У той же час можливість подальшого підвищення потенційної завадостійкості приймальних пристроїв обґрунтував Д. Слеп'ян у своїй теоремі [9], застосування якої справедливе тільки у тих випадках, коли ширина спектру сигналу більша, ніж ширина спектру шуму.

Для передачі інформації в НШС системах використовують імпульсні сигнали з дуже короткою тривалістю імпульсів. Такий сигнал, що має малий просторово-часовий об'єм, дозволяє передавати велику кількість інформації в одиницю часу. Так для передачі одного біту інформації вузькосмуговій системі потрібно від 10 до 50 періодів несучого коливання. У той же час НШС система зв'язку використовує для передачі одного біту інформації тільки одне коливання.

Вочевидь, використання надширокосмугових сигналів дозволяє передавати інформацію на швидкості, що значно перевищує швидкість традиційних засобів зв'язку.

В цифровому безпроводному зв'язку критерієм якості каналу є відношення сигнал/завада  $E_s/N_o$ , (SNR signal – to – noise ratio), яке пов'язує середню потужність сигналу  $S$  із середньою потужністю шуму  $N$ . Причому, змінна  $E_s$  є енергією інформаційного біту, яка являє собою потужність сигналу  $S$ , помножену на час передачі біту  $T_s$ , а  $N_o$  – спектральна потужність шуму, визначає потужність шуму  $N$ , яку поділено на ширину смуги  $W$ .

Слід також зазначити, що час передачі біту  $T_s$  та швидкість його передачі  $R_s$  взаємно зворотні:

$$T_s = 1/R_s.$$

*Продуктивність* системи цифрового зв'язку визначає залежність імовірності появи хибного біту  $P_s$  від співвідношення сигнал / завада, що також є стандартною мірою *завадостійкості* систем цифрового зв'язку [4].

$$\frac{E_s}{N_o} = \frac{ST_s}{N/W} = \frac{S}{N} \frac{W}{R} = \frac{S}{N} B,$$

де  $B = WT_s$  є базою сигналу.

Аналіз цього співвідношення показує, що основним параметром, який дозволяє забезпечити високу якість зв'язку та відповідну продуктивність і завадостійкість є база сигналу  $B$ .

Із розширенням бази сигналу  $B \gg 1$  виникає можливість збільшення швидкості передачі інформації за рахунок скорочення тривалості переданого сигналу.

Таким чином, до переданого сигналу вводять деяка надлишковість, величину якої визначає коефіцієнт розширення спектру.

Саме наявність цієї надмірності визначає такі властивості надширокосмугових систем, як можливість переборення явищ багатопроменевого розповсюдження радіохвиль і ефективного використання

спектру під час роботи у переважаному частотному діапазоні.

Однак в умовах впливу природних та штучних завад надлишковість призводить до збільшення імовірності ураження завадами робочої смуги частот, спотворюючи інформаційні сигнали у безпроводному каналі зв'язку.

### 3. Метод формування інформаційних сигналів

Формування інформаційних сигналів здійснюють шляхом використання надширокосмугових сигналів з низькою спектральною щільністю потужності.

Надширокосмуговий сигнал  $n(t)$  поділяють на дві частини, з яких одну використовують у якості опорного сигналу.

Іншу частину сигналу  $n(t)$  затримують на час  $T_1$  при надходженні символу «1» чи на час  $T_0$  при надходженні символу «0».

Затриманий та опорний сигнали призначені для взаємної інтерференції у передавачі.

В суматорі передавача здійснюють складання опорного сигналу  $n(t)$  з надширокосмуговим сигналом, який затримано на час  $T_1$  чи  $T_0$  в залежності від надходження бінарного символу «1» чи «0».

$$z_{1,0}(t) = n(t) + n(t - T_{1,0}) \quad (1)$$

Спектр потужності сумарного сигналу обчислюють за час надходження  $t_a$  кожного інформаційного символу у вигляді:

$$\widehat{S}_z(f) = 2\widehat{S}_n(f)(1 + \cos(2\pi f T_{1,0})), \quad (2)$$

де  $\widehat{S}_n(f)$  – оцінка спектра потужності сигналу  $n(t)$  за час аналізу  $t_a$ .

Складання повністю некогерентних сигналів має місце, коли відносна затримка  $T_1$  чи  $T_0$  опорного і затриманого сигналів значно перевищує час когерентності

$$\tau_c \approx 1/(\Delta f)$$

надширокосмугового сигналу  $n(t)$ :

$$T_{1,0} \gg \tau_c \text{ чи } T_{1,0}\Delta f \gg 1.$$

Таким чином до безпроводної лінії поступають надширокосмугові сигнали з періодичною кодовою модуляцією спектра у відповідності з потоком двійкових інформаційних символів.

Оптимальний когерентний прийом надширокосмугових сигналів полягає у вимірюванні функції взаємної кореляції з опорним сигналом за час надходження одного інформаційного біту. Вимірювання функції взаємної кореляції для затриманих надширокосмугових сигналів здійснюється в частотній області шляхом подвійної спектральної обробки, здійснюючи їх спектральний стиск.

Визначення кореляційної функції з урахуванням співвідношення (2) для спектру прийнятих сигналів зазвичай покладено на швидкодіючий цифровий Фур'є-процесор. Застосування зворотнього перетворення Фур'є від спектру потужності (2) дозволяє обчислити автокореляційну функцію прийнятого надширокосмугового сигналу:

$$\widehat{R}_z(\tau) = 4\pi \int_0^{\infty} \widehat{S}_z(f) \cos(2\pi f\tau) df = 2[\widehat{R}_n(\tau) + \widehat{R}_n(\tau - T_{1,0}) + \widehat{R}_n(\tau + T_{1,0})],$$

де  $\widehat{R}_z(\tau)$  – функція автокореляції надширокосмугового сигналу  $n(t)$ .

Обчислена автокореляційна функція, має інформаційний пік на часі затримки в залежності від поточного символу «1» чи «0». Рішення про наявність одного з двійкових символів приймається за зсувом на час  $T_1$  чи  $T_0$  інформаційного піку для автокореляційної функції. Таким чином здійснюють достовірне відновлення переданої інформації.

Широка смуга частот та надкоротка тривалість імпульсів висувають підвищені вимоги до точності синхронізації. В цих НШС системах у якості сигналу синхронізації використовують опорну послідовність сигналів. Інформаційні сигнали та сигнали синхронізації знаходяться на одному енергетичному рівні, а спектральна щільність усіх каналів знаходиться на рівні шумів, тому система значною мірою зазнає погіршення значень імовірності бітової похибки. У той же час застосування в системах зв'язку мобільних пристроїв технології надширокосмугових сигналів дозволяє збільшити співвідношення сигнал/шум на вході приймача, що дає можливість зменшити рівень електромагнітного випромінювання та забезпечити таким чином вимоги щодо підвищення рівня завадо-

стійкості та прихованості каналу мобільних систем безпроводного зв'язку.

В імпульсних приймачах використовують корелятор, який здійснює згортку близьких за формою вхідного сигналу з еталонним. До корелятору надходять синхроімпульси та імпульси із різними часовими проміжками між ними, які відповідають окремим часовим проміжкам опорної кодової послідовності. У випадку співпадіння будь-якого проміжку, корелятор формує максимум, положення якого у часі чи зміна його полярності надається інформація щодо виду переданого двійкового сигналу. Однак у цьому випадку система синхронізації працює тільки за великих значеннях відношення сигнал/завада на вході приймача.

Під час формування надширокосмугового інформаційного сигналу у передавачі та його декодування у приймачі за рахунок інтерференції опорного та шумового сигналів виникають внутрішньосистемні завади. Причому, їх вплив підсилюється та призводить до збільшення рівня бітової похибки при підвищенні швидкості передачі інформації за умов зменшення часу передачі біту  $T_s$  [10]. Зазвичай в існуючих безпроводних каналах систем НШС зв'язку одночасно передаються як опорний, так і інформаційний сигнали, які створюють один для одного внутрішньосистемні завади (рис. 1) [11].

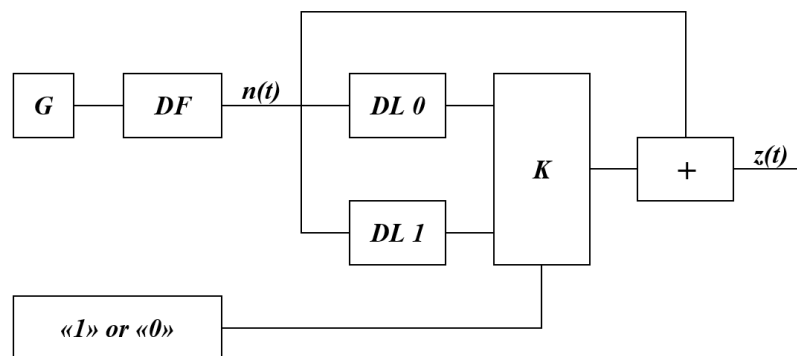


Рис. 1. Схема одночасного формування опорного та інформаційного сигналів

На рис. 1 зазначено:

G – генератор, який в автоколивальному режимі формує послідовність надкоротких імпульсів-чипів;

DF – цифровий смугово-пропускаючий фільтр, який формує сигнал  $n(t)$ ;

DL – лінії затримки, які зсувом на час  $T_1$  чи  $T_0$  формують інформаційні сигнали згідно з потоком двійкових бітів «одиниця» чи «нуль» від джерела інформації.

Опорний сигнал через суматор потужності випромінюється передавачем безперервно. Сигнал

$$z_{1,0}(t) = n(t) + n(t - T_{1,0}),$$

як сума опорного і інформаційного сигналів має вторинний максимум автокореляційної функції, положення якого у часі є інформаційним параметром сигналу.

Більш високу завадостійкість має система зв'язку з протилежними надширокосмуговими сигналами.

Передавач має лише одну лінію затримки (рис. 2). При цьому інформація кодується не зміною положення вторинного максимуму автокореляційної функції у часі, а зміною полярності цього максимуму.

У порівнянні з попередньою схемою друга лінія затримки DL замінена на широкосмужний фазообертувач F, який забезпечує фіксований фазовий зсув у робочій смузі частот. Оскільки затримка між опорним та інформаційним сигналами постійна, а зміна знака автокореляційної функції закладена в структурі самого сигналу, то схема приймача суттєво спрощується. Однак наявність широкосмужного фазообертувача з фіксованим зсувом фази робить її реалізацію складною, що обумовлено необхідністю узгодження технічних характеристик фазообертувача F в широкій смузі частот.

Зменшити рівень внутрішньосистемних завад та бітової похибки дозволяє метод часового розділення опорного та інформаційного сигналів, схема реалізації якого наведено на рис. 3.

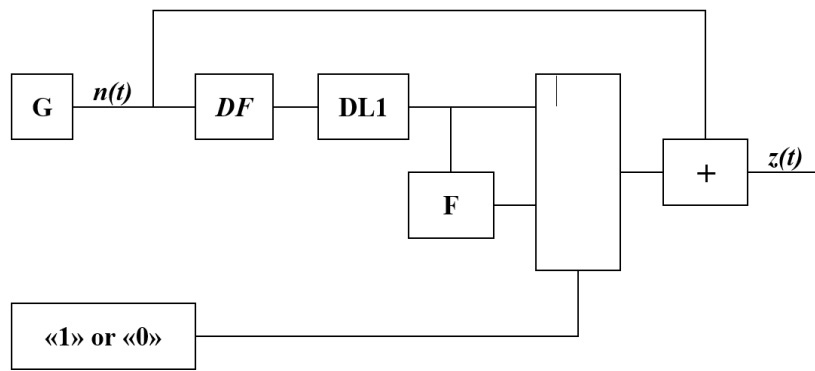


Рис. 3. Схема розділеного формування опорного та інформаційного сигналів

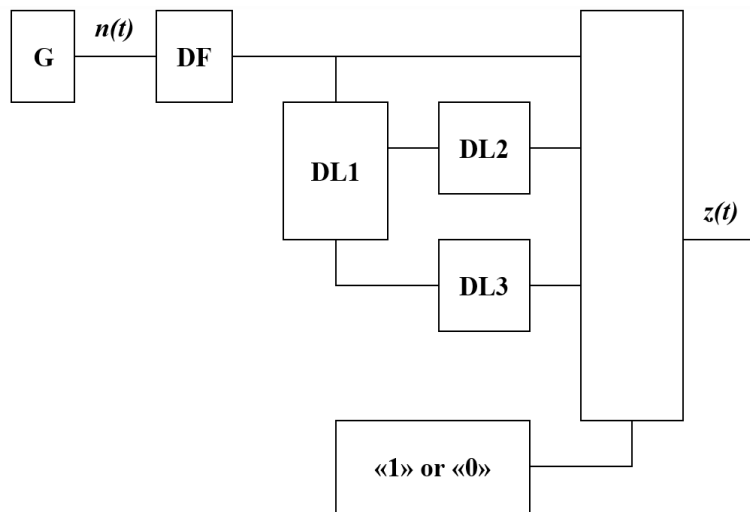


Рис. 2. Схема формування інформації протилежними НППС сигналами

На відміну від існуючих (рис. 1, 2), в схемі передавача застосовано трипозиційного комутатора. Протягом першої половини бітового інтервалу комутатор замикає вихід передавача безпосередньо на генератор НППС сигналу (G). Таким чином протягом періоду часу  $T_s/2$  формують опорний надширокопasmовий сигнал. У середині бітового інтервалу здійснюють переключення комутатора до однієї з двох можливих позицій в залежності від потоку двійкових бітів «одиниця» чи «нуль» від джерела інформації. При цьому лінія затримки DL1 забезпечує затримку сигналу  $x(t)$  на половину бітового інтервалу  $T_s/2$ , а лінії затримки DL2 та DL3 задіяні безпосередньо для формування потоку двійкових бітів «одиниця» чи «нуль». В результаті формується інформаційний сигнал, відокремлений у часі від опорного, який на одному інтервалі  $T_s$  має такий вигляд.

$$y(t) = \begin{cases} x(t), & 0 \leq t \leq \frac{T}{2}; \\ x\left(t - \frac{T}{2} - T_0\right), & \frac{T}{2} \leq t \leq T; \\ x\left(t - \frac{T}{2} - T_1\right), & \frac{T}{2} \leq t \leq T; \end{cases}$$

При цьому слід зазначити, що системи з надширокопasmовими сигналами, які використовують передачу опорного сигналу та їх автокореляційний

прийом, забезпечують високий рівень структурної прихованості сигналу.

### Висновки

Таким чином передавач формує та випромінює до вільного простору складний сигнал, до складу сигналу якого включено інформаційний імпульсний НППС сигнал у вигляді закодованої послідовності імпульсів та окремого імпульсного синхросигналу.

З огляду на те, що умови синхронізму підтримують безперервно під час сеансу зв'язку а не у дискретних точках, що характерно для відомих імпульсних систем, то висока якість синхронізації зберігають і під час взаємних переміщень мобільних об'єктів.

Зменшення часу синхронізації сигналів системи радіозв'язку з імпульсними надширокопasmовими сигналами та підвищення її якості, суттєво підвищує ефективність використання високої пропускної здатності під час роботи з великою кількістю користувачів, особливо під час роботи з мобільними об'єктами. При цьому підвищується усталеність каналів зв'язку до впливу завад від сусідніх каналів, забезпечуючи такі основні переваги НППС систем зв'язку, як:

- підвищена завадозахищеність;
- можливість забезпечення кодового розділення каналів;
- низький рівень спектральної щільності;

- енергетична та інформаційна захищеність зв'язку;  
- підвищена пропускна здатність.

Застосування методу формування надширокосмугового сигналу з усталеною синхронізацією дозволяє ефективно реалізувати потенційну високу щільність каналів зв'язку на один квадратний метр робочої зони. Завдяки зменшенню рівня інформаційного сигналу відносно рівня білого шуму в робочому діапазоні частот здійснюється одночасна беззавадова робота як традиційних вузькосмугових систем зв'язку, так і систем зв'язку, які використовують надширокосмугові сигнали. Використання технології НШС зв'язку з розподілом у часі синхроімпульсу та інформаційного сигналу дозволяє гарантовано забезпечити вимоги щодо

завадостійкості, прихованості і безпеки каналів безпровідного мобільного зв'язку на усіх етапах їх розробки, виготовлення та експлуатації.

### Вдячність

Цю роботу було частково профінансовано Європейським Союзом у рамках проекту «dComFra – Digital competence framework for Ukrainian teachers and other citizens» (Project Number: 598236-EPP-1-2018-1-LT-EPPKA2-CBHE-SP) за програмою ERASMUS+. Підтримка Європейською комісією створення цієї роботи не означає повної підтримки її змісту, а лише відображає погляди авторів. Комісія не може нести відповідальності за будь-яке використання інформації, яку розміщено в цій роботі.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Celimuge Wu, Zhi Liu, Di Zhang, Tsutomu Celimuge Wu, Zhi Liu, Di Zhang, Tsutomu Yoshinga, Yusheng Ji. Spatial Intelligence towards Trustworthy Vehicular IoT. *IEEE Communication Magazine*, 56(10), 22-27 October 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2018.1800089>.
2. Immoreev I.J., Sudakov A.A. Ultra-Wideband Interference Resistant System for Secure Radio Communication with High Data Rate. *ICCSC'02*, St. Petersburg, Russian Federation, June 2002, pp. 230-233.
3. Серков О. А., Панченко С. В., Трубочанінова К. А., Горюшкіна А. Є., Лазуренко Б. О.. Спосіб прийому цифрових двійкових сигналів в умовах шуму. Патент України на корисну модель № 145319 U МПК H04B 1/06. Опубл. 25.11.20, Бюл. № 22, заявка № u 2020 04847 подана 29.07.2020.
4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. М.: Изд. дом «Вильямс», 2003, 146 с.
5. Serkov A., Breslavets V., Tolkachov M., Churyumov G., Issam Saad. Noise-like signals in wireless information transmission systems. *Advanced Information Systems*. 2017. Vol. 1, №2. P. 33-39, available at: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.06>.
6. Serkov O. A., Churyumov G. I. On the issue of solving the problem of electromagnetic compatibility of the wireless telecommunication Systems. *Applied Radio Electronics*. Kharkiv: KHNURE, 2017. Vol. 16, № 3, 4. P. 117-121.
7. Serkov A., Breslavets V., Tolkachov M., Kravets V. Method of coding information distributed by wireless communication lines under conditions of interference. *Advanced Information Systems*. 2018. Vol. 2, No.2. P. 145-148, available at: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.25>.
8. Котельников В.А. Теория потенциальной помехоустойчивости. М.: Госэнергоиздат, 1956. 151 с.
9. Slepian D. Some comment on the Detection of Gaussian Sgnals in Gaussian Noise. *JRE Transactions on Information Theory*. 1952. No. 2. P. 65-68.
10. Калинин В. И. Статистический анализ шумовой системы радиосвязи с двухканальным корреляционным приемником. *Журнал радиоэлектроники*. 2018. № 9. DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2018.9.5>.
11. Serkov A., Trubchaninova K., Mezitis M. Method of wireless transmission of digital information on the basis of ultra-wide signals. *Advanced Information Systems*. 2019. Vol. 3, No. 4. P. 33-38, available at: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.4.04>.

Received (Надійшла) 24.02.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 21.04.2021

### Metod of generating information signals in the system Industrial Internet of Things

Aleksandr Serkov, Nina Kuchuk, Bogdan Lazurenko, Alla Horiuskina

**Abstract.** Industrial facilities that use modern IT technologies require the ensured reliability and security of information in automated enterprise management. Concurrently, so as to ensure a high quality of communication, it is necessary to expand the bandwidth of communication channels, which are limited by the physical parameters of the radio frequency spectrum. In order to overcome this contradiction, we propose the application of technology fundamental to ultra-wideband signals, in which the ratio between the bandwidth and its central part is greater than „one”. For this reason, the information signal is emitted without a carrier frequency - simultaneously within the entire frequency band - provided that the signal level is lower than the noise level. For the transmission of information content, the method of positional-time coding is used, in which each information bit is encoded by hundreds of ultrashort pulses that arrive within a certain sequence. Mathematical models of signals and values observed in wireless communication systems with autocorrelation reception of modulated ultra-wideband signals are furthermore recommended. These assist in identifying features of the dependence of the error probability on the normalized signal-to-noise ratio and the signal base. Comparative analysis has shown that the best noise immunity of the systems considered in this paper is the communication system, which uses the time separation of the reference and information signals. During the first half of the bit interval, the switch closes the output of the transmitter directly to the generator of the ultra-wideband signal - forming a reference signal. In the middle of the bit interval, the switch alternates the output to one of two possible positions depending on the encoding signal – “zero” or “one”, forming the information part of the ultra-wideband signal. It should also be noted that systems with autocorrelation reception and separate transmission of reference and information signals, provide a high level of structural signal secrecy. Furthermore, they provide the reliable transmission of digital information, especially in interference conditions.

**Keywords:** IIoT; mobile communication; noise immunity; safety; Ultra-wideband signals.

Oleksandr Shefer<sup>1</sup>, Vitalii Marchenko<sup>2</sup>, Galina Cherneva<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”, Poltava, Ukraine,

<sup>2</sup> Poltava Polytechnic Professional College, Poltava, Ukraine

<sup>3</sup> South West University, Blagoevgrad, Bulgaria

<sup>4</sup> “Todor Kableshkov” University of Transport, Sofia, Bulgaria

## PLASMA NEW SELECTIVE PROPERTIES FOR EFFICIENT USE IN ELECTRONICS AND TELECOMMUNICATIONS

**Abstract.** In terms of active and passive electronic counteraction, detection of geophysical phenomena of artificial and natural origin is becoming increasingly important. Discovering new properties of plasma enables to improve the information component of radio signals more effectively and use the obtained properties in related fields. Elementary processes in the longitudinal and transverse directions of the discharge, depending on natural and artificial conditions, under different types of gaseous medium used; at different gas pressures and different pulse-periodic application of an electric field is studied in the article. The difference of discharge properties in inert and molecular gases with different designs and electrodes of the laboratory device is shown. It is established that the change of functional purpose between the cathodes and the anodes does not change the shape of the discharge. The presence of ambipolar diffusion of charge carriers acting on a large area of plasma was determined. Partial charge carrier homogeneity has been established, which is observed only along the plasma surface, and homogeneity is violated in the perpendicular direction. The difference in energy input in the discharge, depending on the design of the electrodes other things being equal is determined. The identified properties of plasma enable them to be used more effectively for practical implementation in the field of electronics and telecommunications and other industries.

**Keywords:** electronics and telecommunications; ionospheric perturbations; technological plasma; volt-ampere characteristics; complicated conditions; space charge; localized discharge.

### Introduction

Recently, traditional methods and ways of obtaining information are closed to the limits of their capabilities. In this regard, more and more attention is paid to finding new sources of information and ways to obtain it [1]. In the terms of active counteraction to all types of exploration, detection of geophysical phenomena of artificial and natural origin has recently become more and more relevant in the world. Such phenomena include ionospheric perturbations, which occur under the influence of factors of both natural and artificial origin [1, 2].

By discovering new properties of plasma, it enables to improve the information component of radio signals more effectively [3]. Obtaining new selective properties of technological plasma, will enable its usage in related fields designed to improve human life, for example, for plasma chemical water treatment, for spraying thin films in industry, for disinfection of fabrics and surfaces in medicine, for neutralization and disposal of industrial sludges. [4, 5].

Plasma is called low-temperature if its average electron energy is less than the characteristic ionization potential of an atom ( $<10$  eV); its temperature usually does not exceed 105 K. Technological low-temperature plasma is weakly ionized, ie, the number of neutral atoms and molecules significantly exceeds the number of charged particles - electrons and ions [6]. Since the Coulomb interaction between charged particles is much stronger than the interaction between neutral particles, and this interaction is long-range, the presence of charged particles in a low-temperature plasma largely determines its properties, including electrical and electromagnetic. Many types of low-temperature plasma exist in nature [6, 7], they create low-temperature technological plasma in various laboratory and production systems [6, 8].

Low-temperature plasma is produced using various types of electrical discharges or electron beams. In this case, the bulk of the electrical energy goes to the production of energetic electrons, and not to heat the gas stream. The interaction of these electrons with the working gas and the surface of the electrodes leads to the creation of excited states of atoms and molecules, free radicals, ions and additional electrons for the ionization set [5].

However, the known literature does not fully address the issues of practical implementation of the selective properties of plasma.

For the proper use of low-temperature plasma in technological processes, it is necessary to understand the basic principles of the discharge in order to control the plasma parameters.

**The purpose of the article** is to analyze and identify the features of volt-ampere characteristics of plasma, depending on the physicochemical properties of the materials used and the energy parameters of the discharge, for practical implementation in telecommunications and other industries.

### Basic material and results

The existence of a discharge with a total radiation plasma in a localized device is limited by the gas pressure (which fills the discharge volume), the combustion voltage and the manufacturing technology. This pressure limitation is manifested in the fact that with increasing gas pressure complicated conditions are not met. In this case, there are no conditions for the formation of localized plasma. As the gas pressure decreases, this plasma can be formed up to 0.133 Pa or less. But under this condition it is necessary to greatly increase the combustion voltage. Under conditions of a certain small pressure, the combustion voltage is so high that the



voltage source does not provide combustion of the discharge.

Another factor limiting the formation of this plasma is the design and technological difficulties. The manufacture of gas discharge devices such as localized, small diameter and with a large number of electrodes is very difficult due to the complexity of technology, assembly and glass blowing. As a result, these devices are not manufactured with a diameter of less than 8 mm [9].

Depending on the type of gas, the restrictions on the formation of localized plasma have different limits of pressure, voltage, diameter and number of electrodes in the device.

For example, in an inert argon gas, a total radiation plasma was formed in a device with a diameter of 46 mm and 20 electrodes; the highest pressure limit value during the study of this discharge was 535.95 Pa, at an anode voltage of  $U = 188$  V, and discharge current  $8,1 \cdot 10^{-2}$  A. At a minimum pressure  $p = 3,47$  of Pa, the maximum combustion voltage was 690 V, and the discharge current  $1,3 \cdot 10^{-3}$  A.

The measured parameters of the discharges with the plasma of the total radiation are given in Table 1 for neon, air, hydrogen, combustible gas (propane)  $C_3H_8$ , carbon dioxide and nitrogen in a device with 20 electrodes, with a diameter of the discharge gap  $D = 46$  mm.

Table 1 – Discharge parameters depending on the type of gas, voltage and discharge current

№ ch.	gas	$p$ , torus	$U$ , V	$I \cdot 10^{-3}$ , A
1	Argon	4,02 - 0,026	190 - 690	81 - 1,3
2	Helium	5,14 - 0,04	185 - 760	58 - 1,7
3	Neon	1,7 - 0,08	210 - 730	36 - 1,5
4	Air	3,26 - 0,09	560 - 980	71 - 2,4
5	Hydrogen	3,8 - 0,12	540 - 1020	25 - 3,1
6	Propan $C_3H_8$	3,4 - 0,16	550 - 960	110 - 1,4
7	Carbon dioxide $CO_2$	4,9 - 0,06	610 - 1220	94 - 1,7
8	Nitrogen	6,21 - 0,11	510 - 870	133 - 2,1

Table 1 shows that the discharges with the total radiation plasma in inert gases exist at lower stresses than in the atmosphere of heavy molecular gases, and there is a difference in the pressure limits.

For molecular gases, these values are slightly higher. Under the condition of a constant diameter of the discharge interval, the increase in the number of rod electrodes  $N$  shifts the limitations on the formation of this plasma in the direction of high pressures.

The boundaries of the existence of the plasma of the total radiation, depending on the diameter of the discharge gap, are presented in Table 2.

The discharge in the localized device is a typical case of electric current in the gas. Unlike a discharge with plane-parallel intervals, the discharge in this device does not have a variety of discharge zones. In the longitudinal and transverse directions of the discharge, there is only one illuminated area - negative radiation and one dark space, which is located between the electrodes and the radiation.

Table 2 – The boundaries of the total radiation existence of plasma depending on the diameter of the discharge gap

№ ch.	$p$ , torus	$N$ – number of electrodes	$2R \cdot 10^{-3}$ , m
1	1,0	16	27,0
2	1,5	16	18,0
3	2,0	16	13,5
4	2,5	16	10,6
5	4,0	16	6,7

For all these pressures and test gases in this category there are no other zones. Changing the functional purpose between the cathodes and anodes does not change the shape of the discharge.

Measured volt-ampere characteristics of the discharge, for example, in argon is in a relatively small range of pressures 2.67 - 79.8 Pa (Fig. 1).

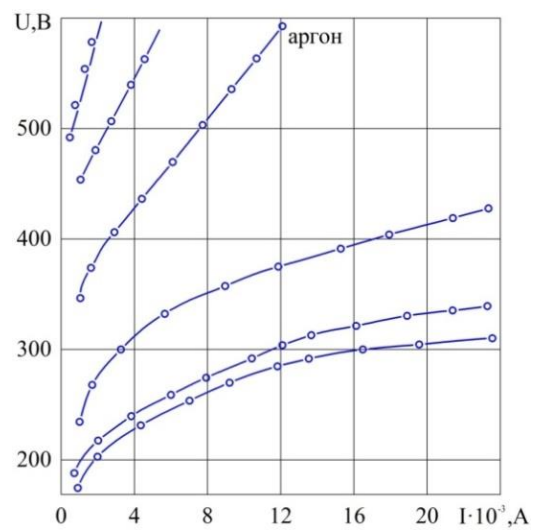


Fig. 1. Volt-ampere characteristics of the localized discharge, under conditions of changes in argon pressure: 1 –  $p = 2.66$  Pa; 2 –  $p = 5.32$  Pa; 3 –  $p = 7.98$  Pa; 4 –  $p = 13.3$  Pa; 5 –  $p = 53.2$  Pa; 6 –  $p = 79.8$  Pa

However, despite the small pressure interval, the measured dependences  $I = f(U)$  are significantly scattered in voltage and discharge current.

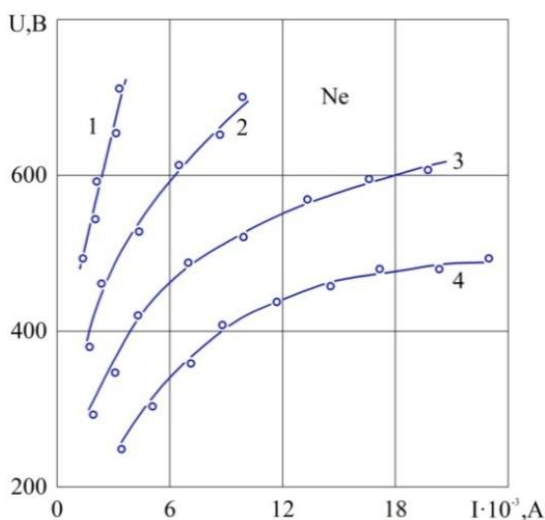
In the range of 2.67 - 79.99 Pa, they are in the range of 700 - 1000 V with a discharge current up to  $8 \cdot 10^{-3}$  A. When the pressure varies between 79.99 - 186.65 Pa, the characteristics are shifted to a range of relatively low voltages of 180 - 660 V, and the discharge current reaches 0.005 - 0.018 A.

With the change in pressure in the device, the discharge in the neon atmosphere has approximately the same arrangement of volt-ampere characteristics (Fig. 2).

In neon, as in argon, under conditions of low pressures, the dependences  $I = f(U)$  lie in the region of high voltages and are mostly rectilinear. This indicates that a small space charge is formed in the dark space.

With increasing pressure in these inert gases, the volt-ampere characteristics become increasing, which is due to an increase in the space charge in dark space. Characteristically, despite the complication of conditions in the localized device, the discharge at low currents

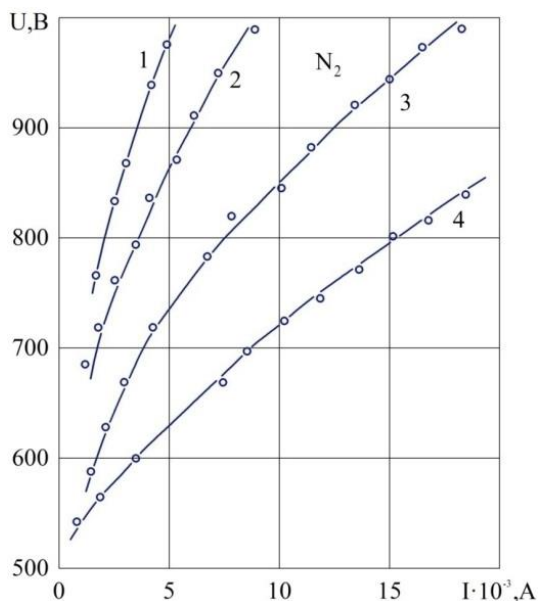
burns at relatively low voltages of 250 - 300 V. This voltage in the discharge is close to the tabular voltage of a short normal discharge, with plane-parallel intervals.



**Fig. 2.** Volt-ampere characteristics of the localized discharge under conditions of pressure change of neon: 1 -  $p = 6,78$  Pa; 2 -  $p = 11,97$  Pa; 3 -  $p = 25,27$  Pa; 4 -  $p = 34,58$  Pa

Plasma of total radiation is formed in the same way and in discharges with molecular gases. In the case of a discharge in an atmosphere of ordinary air, hydrogen, combustible gas  $C_3H_8$ , carbon dioxide, nitrogen, each time a column of plasma radiation of the general glow with a characteristic color due to the type of gas was created.

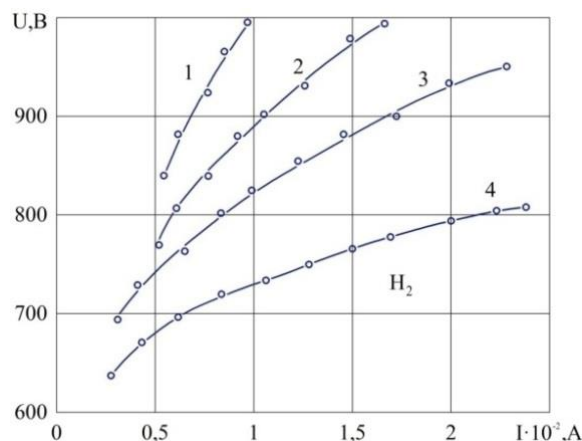
In contrast to inert gases, the volt-ampere characteristics in molecular gases lie in the region of higher voltage (Fig. 3, 4) and in a slightly larger pressure range. All the characteristics shown in Fig. 1 - 4, have a monotonic dependence and show that in all gases and at all specified pressures the discharge with the plasma of the general radiation is in the anomalous mode.



**Fig. 3.** Volt-ampere characteristics of the localized discharge, under terms of changes in nitrogen pressure: 1 -  $p = 10,64$  Pa; 2 -  $p = 14,36$  Pa; 3 -  $p = 27,93$  Pa; 4 -  $p = 37,24$  Pa

The upper pressure limits for the molecular gases studied differ insignificantly.

Molecular gases are characterized by a small change in the slope of the characteristics with increasing pressure. In this case, the convexity of these characteristics is not very pronounced. This indicates a slow increase in charge in a dark space as the anode voltage increases. Note that during the observation through the end window, the diameter of the column of plasma of the total radiation is larger than during the discharge in inert gases.

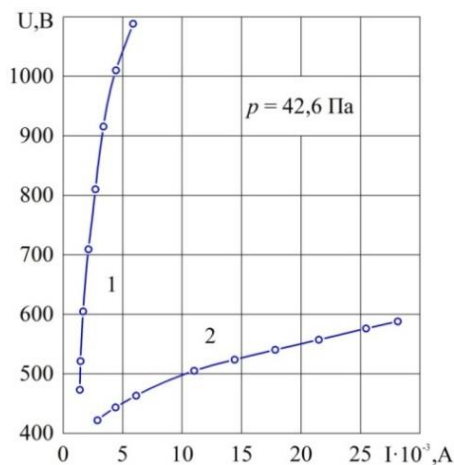


**Fig. 4.** Volt-ampere characteristics of the localized discharge, under terms of changes in hydrogen pressure: 1 -  $p = 18,62$  Pa; 2 -  $p = 25,27$  Pa; 3 -  $p = 39,91$  Pa; 4 -  $p = 53,27$  Pa

In the area of low pressures, where the required anode voltage was much higher - 1200 V, measurements were not performed.

In Fig. 5 compares the volt-ampere characteristics of a localized discharge and a flushing discharge with a plane-parallel gap under conditions of the same cathode area, energy input and helium pressure.

This comparison clearly displays that the dependence  $I = f(U)$  of the discharge with a plane-parallel gap is located in the region of higher voltages, at low discharge currents.



**Fig. 5.** Comparison of volt-ampere characteristics of the localized discharge - 2 and the discharge with a plane-parallel gap - 1; under terms of the same area of the cathode, energy input and helium pressure

Such a dependence of the localized discharge, on the contrary, is located in the region of much lower voltages at relatively large discharge currents.

From the comparison of volt-ampere characteristics, it was obtained that the localized discharge is more than 30 times higher than the flat gap discharge.

Such a large difference in is mainly due to the fact that in the localized discharge there is no ambipolar diffusion of charge carriers to the inner walls of the discharge chamber, and to the intense total emission of charge carriers formed on the entire cylindrical surface of the localized plasma.

### Conclusions

The selective properties of low-temperature plasma in the discharge range, which have a significant difference from the known characteristics:

First, there is an excess of fast electrons in the plasma; the average energy of the main electrons is higher and is 2-3 eV, and the electron density is almost similar.

Secondly, the total emission of charge carriers occurs with a larger, but not with the entire surface of the plasma. The opposite surface of the plasma is not covered by these processes.

Third, there is ambipolar diffusion of charge carriers, which acts on a large area of plasma.

Fourth, there is only partial homogeneity in this plasma, which is observed only along the surface of the plasma, and in the perpendicular direction the homogeneity is violated.

The result of such differences is that the energy contribution in this category is higher than in the localized, under equal operation terms.

### REFERENCES

1. Karlov V.D. K voprosu ob izmerenii skorosti peremeshheniya ionosfernykh vozmushhenij metodom nekogepentnogo rassejanija radiovoln s primeneniem korreljacionnogo sposoba / V.D. Karlov, M.N. Zhuravskij, D.V. Karlov, O.V. Efimova // Zbirnik naukovih prac' HUPS. – 2010. – # 3 (25). – pp. 54 – 57.
2. Rogozhkin E.V. Zondirujushhie signaly dlja issledovanija ionosfery metodom nekogepentnogo rassejanija: monografija / E.V. Rogozhkin, V.A. Puljaev, V.N. Lysenko. – H.: NTU HPI, 2008. – P. 254.
3. Krjukovskij A. S. Issledovanie osobennostej rasprostraneniya korotkikh radiovoln v neodnorodnoj anizotropnoj ionosfere / A. S. Krjukovskij, D. S. Lukin, D. V. Rastjagaev // Jelektromagnitnye volny i jelektronnye sistemy. – 2009. – Vol. 14. – no 8. – pp. 17-26.
4. Fridman G., Gutsol A., Shekhter A.B., Vasilets V.N., Fridman A. Applied Plasma Medicine // Plasma Process. and Polym. – 2008. – V. 5. – Iss. 6. – P. 503–533.
5. Zimin A.M., Hvesjuk V.I., Cydypov B.D. Jevoljucionnaja fiziko-matematicheskaja model' processov v sil'notochnykh plazmennykh sistemah // Nanomaterialy i tehnologii. Fizika kondensirovannogo sostojanija. Fizika i tehnika nizkotemperaturnoj plazmy: sb. tr. vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, 4-7 sent. 2008. - Ulan-Udje: Izd-vo Burjat.gos. un-ta, 2008. - pp.191-195.
6. Smirnov B. M. Theory of Gas Discharge / B. M. Smirnov // Plasma Springer Series on Atomic, Optical, and Plasma Physics, Switzerland. – 2015. – P 423.
7. Morozov A.I., Vvedenie v plazmodinamiku, Moskva, Fizmatlit (2006).
8. Abdullin I.Sh. Vysokochastotnye razrjady ponizhennogo davlenija v plazmohimicheskikh processah // Vestn. Kazan.tehnol. un-ta. - 2010. - no 4. - pp.172-186.
9. Shefer O. V. Principi formuvannja impul'snogo plazmovogo seredovishha dlja pidvishhennja zavadostijkosti radiosignaliv / O. V. Shefer // Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija. – Har'kov: NAU «HAL», 2017. – Vyp. 2 (137). – pp. 36-43.

Received (Надійшла) 23.01.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 31.03.2021

### Нові селективні властивості плазми для ефективного використання в електроніці та телекомунікаціях

О. В. Шефер, В. С. Марченко, Г. П. Чернева

**Анотація.** В умовах активної та пасивної радіоелектронної протидії, виявлення геофізичних явищ штучного і природного походження набувають все більшої актуальності. Виявлення нових властивостей плазми, дає змогу більш ефективно покращувати інформаційну складову радіосигналів та використовувати отримані властивості в суміжних галузях. У статті проведено дослідження елементарних процесів у повздовжньому та поперечному напрямках розряду, в залежності від природних та штучних умов, за різних видів газового середовища, що використовується; за різних тисків газу та різного імпульсно-періодичного прикладання електричного поля. Показана відмінність властивостей розряду в інертних і молекулярних газах за різних конструкцій та площі електродів лабораторного пристрою. Встановлено, що зміна функціонального призначення між катодами та анодами не призводить до зміни форми розряду. Визначена присутність амбіполярної дифузії зарядоносіїв, котра діє на великій площі плазми. Встановлено часткову однорідність зарядоносіїв, котра спостерігається тільки вздовж поверхні плазми, а в перпендикулярному напрямку однорідність порушується. Визначена різниця енерговнеску у розряді, залежно від конрукції електродів, за інших рівних умов. Виявлені властивості плазми дають змогу їх більш ефективно використовувати для практичної реалізації у галузі електроніки та телекомунікацій та інших галузях промисловості.

**Ключові слова:** електроніка та телекомунікації; іоносферні збурення; технологічна плазма; вольт-амперні характеристики; ускладнені умови; просторовий заряд; локалізований розряд.

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Сао Weiling	70	Карлов В. Д.	140	Петровська І. Ю.	144
Zhang Liqiang	70	Кацман М. Д.	119	Підгорний М. В.	89
Алнаєрі Фрхат Алі	144	Коваленко А. А.	78	Поворознюк А. І.	92
Альошин С. П.	53	Коломійцев О. В.	144	Поворознюк О. А.	92
Бажак О. В.	107	Колумбет В. П.	81	Повхліб В. С.	161
Баленко О. І.	78	Кононов В. Б.	31	Попов І. І.	112
Бездельний В. В.	21	Кононова О. А.	31	Почерняєв В. М.	161
Бережна О. В.	58	Криховецький Г. Я.	125	Прокопов С. В.	136
Борисенко О. А.	58	Кудімов С. А.	34	Пустовойтов П. Є.	148
Бороздін М.	67	Кучук Г. А.	148	Раскін Л. Г.	96
Бречко В. О.	70	Кучук Н. Г.	166	Рахімі Я.	89
Бутко І. М.	4	Лазарев В. Д.	153	Росінський Д. М.	39
Васильєв В. Р.	58	Лазуренко Б. О.	166	Сакович Л. М.	125
Вишнівський В. В.	136	Лапін П. В.	119	Сердюк В. В.	58
Вінокуров А. І.	63	Лебедєв О. Г.	148	Серков О. А.	166
Гладких В. М.	136	Левченко Л. О.	81	Сіра О. В.	96
Глуценко М. О.	153	Леонов І. Г.	140	Сокіріна В. О.	11
Головко Г.	67	Леушин С. Г.	140	Сухотеплий В. М.	39
Горішняк А. О.	58	Лимаренко В. В.	148	Сушак М. Б.	21
Горюшкіна А. Е.	166	Ломанченко А. С.	84	Табуненко В. О.	34
Грохольський Я. М.	125	Лукашов С. А.	39	Терсянцев Д.	102
Давидов В. В.	70	Мажара І. П.	17	Тимочко О. І.	17
Дакі О. А.	107	Майборода І. М.	153	Токар Ю.	67
Даниленко Д. О.	39	Мартовицький В. О.	39	Толкунов І. О.	112
Деркач Т. М.	84	Марченко В. С.	171	Урум Н. С.	107
Деркач Т. М.	102	Масягін В. І.	21	Федунов В. М.	107
Дмитренко А. О.	102	Маценко С. М.	58	Філатова Г. Є.	92
Дмитренко Т. А.	84	Мацюк В. І.	119	Фурсова Н. А.	53
Дорошенко Д. В.	132	Мезенцев М. В.	26	Хлопонін О. С.	84
Зайченко В. В.	161	Молчанов Г. І.	63	Ходаковський О. В.	81
Заполовський М. Й.	26	Нос А. І.	140	Хоменко І. В.	53
Звенігородський О. С.	136	Одінцов В. О.	157	Ціруліс Р.	102
Зінченко О. В.	136	Олексюк В. В.	31	Чернева Г. П.	171
Іванець Г. В.	112	Олещук М. М.	140	Шефер О. В.	171
Іванець М. Г.	112	Очеретенко С. В.	50	Шульга О. В.	11
Іванісенко І. М.	74	Парфенюк Ю. Л.	96	Ярошевич Р. О.	78

Наукове видання

## СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 2 (64)

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*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

Підписано до друку 31.05.2021. Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 22,0. Тираж 140 прим. Зам. 532-21  
Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (050) 302-20-71  
Національний університет «Полтавська політехніка 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)