



# СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

3(55) ' 2019

Заснований  
у 2007 році

Наукове періодичне видання,  
в якому відображені результати  
наукових досліджень з розробки та  
удосконалення систем управління,  
навігації та зв'язку у різних  
проблемних галузях.

**Засновник:**

Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка

**Адреса редакційної колегії:**

Україна, 36011, м. Полтава,  
Першотравневий проспект, 24

**Телефон:** +38 (066) 706-18-30  
(консультації, прийом статей).

**E-mail:**

kozelnkova@ukr.net

**Інформаційний сайт:**

<http://www.pntu.edu.ua>

**Реферативна інформація**

зберігається: у загальнодержавній  
реферативній базі даних  
„Україніка наукова” та публікується  
у відповідних тематичних серіях  
УРЖ „Джерело”.

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

**Голова:**

КОЗЕЛКОВ Сергій Вікторович (д-р техн. наук, проф., Україна)

**Заступники голови:**

ШЕФЕР Олександр Віталійович (д-р техн. наук, доц., Україна)

ШУЛЬГА Олександр Васильович (д-р техн. наук, доц., Україна)

**Члени:**

БЛАУНШТЕЙН Натан Олександрович (д-р техн. наук, проф., Ізраїль)

ВЕСОЛОВСЬКИЙ Кшиштоф (д-р техн. наук, проф., Польща)

ГЛИВА Валентин Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КОРОБКО Богдан Олегович (д-р техн. наук, доц., Україна)

КОШОВИЙ Микола Дмитрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЛАДАНЮК Анатолій Петрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЛУНТОВСЬКИЙ Андрій Олегович (д-р техн. наук, проф., Німеччина)

МАШКОВ Віктор Альбертович (д-р техн. наук, проф. Чехія)

МАШКОВ Олег Альбертович (д-р техн. наук, проф., Україна)

МОРГУН Олександр Андрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ПОПОВ Валентин Іванович (д-р фіз.мат. наук, проф., Латвія)

СТАНКУНАС Йонас (д-р техн. наук, проф., Литва)

СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ФРОЛОВ Євгеній Андрійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ХОРОШКО Володимир Олександрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЧОРНИЙ Олександр Петрович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ШЛОМЧАК Георгій Григорович (д-р техн. наук, проф., Україна)

**Відповідальний секретар:**

КОЗЕЛКОВА Катерина Сергіївна (д-р техн. наук, проф., Україна)

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

*Журнал індексується міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних: Index Copernicus (Польща), General Impact Factor (ЄС), Google Scholar (США), Academic Resource Index (ЄС), Scientific Indexed Service (США).*

*Затверджений до друку вченою радою Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка (протокол від 21 червня 2019 року № 17)*

*Занесений до “Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук” (технічні науки) (від дати включення наказом Міністерства освіти і науки України) від 24.10.2017 № 1413 (додаток 7, п. 31)*

*Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ГПР від 16.11.2012 р.*

## З М І С Т

### НАВІГАЦІЯ, ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ, ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

<i>Худов Г. В., Маковейчук О. М., Хижняк І. А., Березіна С. І., Соломоненко Ю. С.</i> Метод багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури .....	3
--	---

### КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО ТА ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Спіркін Є. В.</i> Компонування винищувача малорозмірних БПЛА для захисту локально обмеженого простору .....	8
--	---

### УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Гордійчук В. В.</i> Методика адаптивного вибору та синтезу раціональних сигнально-кодових конструкцій перспективних програмованих радіозасобів в умовах складної радіоелектронної обстановки .....	19
<i>Денисенко А. М., Грінченко Г. С., Бурдейна В. М., Лис Ю. С.</i> Методика управління ризиками для системи управління якістю при виготовленні виробів медичного призначення .....	25
<i>Карлов В. Д., Кузнєцов О. Л., Артеменко А. М., Карлов А. Д.</i> Постановка задачі оптимального вимірювання дальності до цілі в когерентно-імпульсній РЛС при врахуванні фазових спотворень радіолокаційного сигналу .....	31
<i>Кононов Б. Т., Мусайрова Ю. Д., Куян О. С.</i> Використання електрогідравлічних аналогій при діагностуванні технічного стану бензинових та дизельних двигунів внутрішнього згоряння .....	38
<i>Кононов В. Б., Тузузян Е. Р., Ольховіков Д. С.</i> Методика оцінки інструментальної похибки частотних характеристик зразків радіотехнічної техніки в умовах протидії шкідливому впливу на сигнал .....	43
<i>Наконечний О. В.</i> Аналіз умов та факторів, що впливають на ефективність функціонування системи логістики сил оборони держави .....	48

### ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

<i>Кочина А. А.</i> Дослідження просторового розташування зупиночних пунктів в приміському сполученні для міст України .....	58
<i>Любий Є. В., Чижик В. М., Ковбан С. В.</i> Дослідження якості обслуговування пасажирів на автобусному маршруті №240 міста Одеси .....	63
<i>Очеретенко С. В., Кудріна В. Ю.</i> Використання знижок в логістичних системах підприємствах .....	72

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Borodina E., Hafiak A., Shefer O., Alyoshin S.</i> The information technology and mobile applications appliance for the future specialists preparation in higher education institutions .....	76
<i>Гавриленко С. Ю.</i> Моделювання та дослідження автентифікатора веб-сайтів на основі SRP-протоколу .....	80
<i>Hafiak A., Alyoshin S., Borodina E., Diachenko-Bohun A.</i> Modern information technologies as the basis of the educational informatization process .....	84
<i>Голованова М. А., Голованов Д. С.</i> Застосування ланцюга Маркова для визначення місткості ринкових сегментів в умовах цифрової трансформації поведінки поколінь споживачів .....	89
<i>Дмитрієнко В. Д., Леонов С. Ю., Бречко В. О.</i> Використання асоціативної пам'яті при проектуванні технологічного процесу .....	99
<i>Ічанська Н. В.</i> Оптиміальний вибір методів організації інтернет-ресурсів .....	104
<i>Кальченко В. В.</i> Аналіз існуючої методики проведення аудиту безпеки комп'ютерних систем в державних органах .....	110
<i>Коваленко А. А., Кучук Г. А., Ляшенко О. С.</i> Розподіл ресурсів багатофазної системи обробки великих даних при високоінтенсивному вхідному потоці .....	115
<i>Кучук Н. Г., Лукова-Чуйко Н. В., Собчук В. В.</i> Оптимізація пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвергентної системи .....	120
<i>Нескородєва Т. В.</i> Постановка задач автоматизованого аналізу даних у підсистемі аудиту передумови інформаційній технології системи підтримки прийняття рішень .....	126
<i>Нечволод К. В., Северінов О. В., Власов А. В.</i> Аналіз безпеки даних в ЕММ системах .....	131
<i>Подліпаєв В. О.</i> Концепція побудови системи трансдисциплінарного інформаційного забезпечення геопросторового аналізу з компонентною архітектурою .....	135
<i>Проценко А. А., Іванов В. Г.</i> Класичні методи планування шляху для мобільних роботів .....	143
<i>Тихенко О. М.</i> Дослідження магнітних полів на робочих місцях рухомого складу міського електротранспорту та засоби їх нормалізації .....	152
<i>Чалий С. Ф., Лециньський В. О., Лециньська І. О.</i> Концепція формування поясень в рекомендаційних системах за принципом білого ящика .....	156

### ЗВ'ЯЗОК

<i>Козелков С. В., Кременецька Я. А., Мельник Ю. В.</i> Перспективи, переваги та основні принципи волоконно-ефірних технологій для телекомунікаційних систем в міліметровому діапазоні хвиль .....	161
<i>Nalarko O., Pikul R., Zhuk P., Shyshatskyi A.</i> Analysis of mathematical apparatus for managing channel and network resources of military radio communication systems .....	166
<i>Обіход Я. Я., Лисечко В. П., Ковтун І. В., Шувалова Ю. С., Сколота С. В.</i> Методи віртуалізації і масштабування в мережах безпроводового доступу .....	171
<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	176

# Навігація, дистанційне зондування Землі, геоінформаційні системи

УДК 004.932

doi: 10.26906/SUNZ.2019.3.003

Г. В. Худов<sup>1</sup>, О. М. Маковейчук<sup>2</sup>, І. А. Хижняк<sup>1</sup>, С. І. Березіна<sup>1</sup>, Ю. С. Соломоненко<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

## МЕТОД БАГАТОМАСШТАБНОГО ОБРОБЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З БОРТОВИХ СИСТЕМ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ МІСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

**Предметом** вивчення в статті є метод багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури. **Метою** є розробка методу багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури. **Завдання:** аналіз відомих методів оброблення багатомасштабної послідовності зображень, розробка методу багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури, проведення оброблення зображення з бортової системи оптико-електронного спостереження. Використовуваними **методами** є: методи теорії імовірності, математичної статистики, методи оптимізації, математичного моделювання та цифрової обробки зображень, методи математичної логіки. Отримані такі **результати**. Встановлено, що відомі методи оброблення багатомасштабної послідовності зображень не можуть бути напряму застосовані до багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження. Запропоновано метод багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури. В основі методу покладений двоетапний метод виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження з використанням перетворення Хафа. Проведено оброблення зображення з бортової системи оптико-електронного спостереження методом багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному. Запропоновано метод багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури. На відміну від відомих, передбачається використання двоетапного методу визначення елементів міської інфраструктури на зображеннях з різним значенням масштабного коефіцієнта, перемасштабування оброблених зображень з різним значенням масштабного коефіцієнта до вихідного розміру та розрахунок зображення-фільтру, а результуюче оброблене зображення є піксельним добутком вихідного зображення та зображення-фільтру.

**Ключові слова:** зображення, багатомасштабне оброблення, масштабний коефіцієнт, детектор Канні, перетворення Хафа, об'єкти міської інфраструктури.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

Інформація щодо об'єктів міського ландшафту, елементів міської інфраструктури, що отримана з бортових систем оптико-електронного спостереження використовуються для вирішення різномірних завдань [1, 2]. Зростає потреба даних з бортових систем спостереження в інтересах визначення елементів міської інфраструктури обумовлено [3]:

- постійним збільшенням загального обсягу і доступності інформації, що отримується з бортових систем оптико-електронного спостереження;
- збільшенням інформації з високим розрізненням;
- комплексним використанням даних від різних джерел;
- збільшенням кількості суб'єктів у сфері отримання, розповсюдження, обробки та застосування інформації з бортових систем спостереження.

В сучасних бортових системах оптико-електронного спостереження повітряного та космічного базування існує технічна можливість отримання

оптико-електронних зображень однієї ділянки місцевості з різними масштабами [4]. Масштаби оптико-електронних зображень, що отримані з бортової системи спостереження, залежать від: висоти польоту літального апарату-носія бортової апаратури, фокусної довжини апаратури, коефіцієнта збільшення, куту нахилу бортової апаратури, кривизни земної поверхні [4].

Обробка багатомасштабної послідовності зображень однієї ділянки місцевості, безумовно, підвищує якість визначення елементів міської інфраструктури [4].

Отже, актуальним є розробка методу багатомасштабного оброблення зображень бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує декілька підходів до аналізу багатомасштабної інформації, тобто до побудови картини контурів об'єктів градієнтних зображень різного масштабу [5]. Існують підходи, в яких аналіз градієнтних зображень проводиться від грубих масштабів до точних [6, 7] та від точних до грубих [8, 9]. Методи ро-

зрізняються по принципах побудови градієнтного зображення одного масштабу, але при цьому відкритим є питання, яким чином необхідно комбінувати багатомасштабну інформацію для побудови кінцевої картини границь. В роботі Бергольма [6] запропоновано метод, який полягає у послідовному аналізі багатомасштабної інформації від грубих масштабів до точних. Такий підхід дозволяє значно зменшити вплив шуму і, таким чином, уникнути хибного визначення контурів під впливом шумів. Недоліком методу [6] є можливе розділення контурів, що визначаються на грубих масштабах, на декілька окремих при переході до більш точного масштабу. Стратегія розгляду градієнтних масштабів від грубих до точних також відмічається в роботі [7]. Однак в тих випадках, коли на зображенні присутні невеликі об'єкти з різкими границями, точне визначення границь цих об'єктів при переході від грубих масштабів до точних є ускладненим, так як на градієнтних зображеннях грубого масштабу виникає значне зміщення положення різких контурів.

В роботах [8, 9] кінцева картина границь складається на основі аналізу градієнтних зображень від точних масштабів до грубих. При цьому основними задачами є зменшення впливу шуму, до якого чутливі оператори градієнту малого розміру, та комбінування границь, що отримані на точних масштабах, з плавними границями, які визначаються на грубих масштабах. При успішному рішенні таких проблем підхід до аналізу градієнтних зображень від точних масштабів до грубих є найбільш ефективним для багатьох практичних випадків, в яких необхідно достатньо точно визначити контури об'єктів. Однак, методи, що наведені в [6-10] можуть бути застосовані для сегментування сканованих зображень сторінок книг, газет, журналів з великою кількістю об'єктів невеликого розміру, наприклад, букв та символів.

Методи обробки багатомасштабної послідовності цифрових зображень в промислових системах контролю якості наведені в роботах [11, 12]. Однак, розроблені в них методи обробки багатомасштабної послідовності цифрових зображень неможна напряму використовувати для обробки багатомасштабної послідовності зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження.

В роботі [13] запропоновано при сегментуванні оптико-електронних зображень попереднього проводити багатомасштабне перетворення зображень. У якості ядра перетворення обрано гаусіан з відповідним значенням масштабного коефіцієнта. У якості методу сегментування запропоновано використання методу на основі мурашиного алгоритму. Проведено експериментальні дослідження щодо сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень методом на основі мурашиних алгоритмів. Але методу, запропонованому в [13], притаманний недолік щодо появи великої кількості об'єктів невеликого розміру, які не дозволяють виявити необхідний об'єкт та провести подальше дешифрування зображення з необхідною якістю.

В роботі [14] запропоновано удосконалений метод сегментування багатомасштабної послідовно-

сті зображень, отриманих з космічних систем оптико-електронного спостереження. В основі удосконаленого методу [14] покладено метод на основі мурашиних алгоритмів. Але при використанні удосконаленого методу [14] не вдалося повністю позбутися на сегментованому зображенні об'єктів невеликого розміру, що значно ускладнює структуру сегментованого зображення та істотно впливає на якість дешифрування оптико-електронного зображення.

В [15] запропоновано для сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, використовувати метод ройового інтелекту (штучної бджолоїної колонії). В [15] показано, що використання методу штучної бджолоїної колонії дозволяє проводити тематичне сегментування зображення з заданими показниками якості, навіть в умовах впливу спотворюючих факторів.

**Метою статті** є розробка методу багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури.

### Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

Сутність методу багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури полягає у наступному.

1. Ввід вихідних даних –  $f_{K_m}(\mathbf{X})$  – оптико-електронних зображень з різним значенням масштабного коефіцієнту  $K_m$ .

2. Оброблення зображень  $f_{K_m}(\mathbf{X})$  з різним значенням масштабного коефіцієнту, отримання послідовності оброблених зображень  $f_{s_{K_m}}(\mathbf{X})$  з різним значенням масштабу.

У якості методу оброблення кожного зображення з різним значенням масштабного коефіцієнту будемо використовувати двоетапний метод виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження з використанням перетворення Хафа [16]. На першому етапі проводиться виділення границь з використанням детектору границь Канні, на другому – виділення елементів міської інфраструктури з використанням перетворення Хафа.

5. Визначення результуючого обробленого зображення  $f_{s_R}(\mathbf{X})$  як попіксельного добутку вихідного зображення  $f_{K_1}(\mathbf{X})$  та зображення-фільтру  $f_f(\mathbf{X})$ :

$$f_{s_R}(\mathbf{X}) = f_{K_1}(\mathbf{X}) \& f_f(\mathbf{X}), \quad (1)$$

де  $\&$  – логічна операція "кон'юнкція".

Табл. 1 представляє таблицю істинності логічної операції "кон'юнкція" для результуючого сегментованого зображення  $f_{s_R}(\mathbf{X})$ .

Таким чином, на результуючому обробленому зображенні  $f_{s_R}(\mathbf{X})$  пікселі об'єктів міської інфраструктури будуть знаходитися лише в тому випадку,



якщо вони присутні на всіх зображеннях з різним значенням масштабного коефіцієнту.

6. Вивід результуючого обробленого зображення  $f_{s_R}(X)$ .

Таблиця 1 – Таблиця істинності логічної операції "кон'юнкція" для результуючого обробленого зображення  $f_{s_R}(X)$

$f_{K_1}(X)$	$f_f(X)$	$f_{s_R}(X)$
1	1	1
0	1	0
1	0	0
0	0	0

У якості вихідного будемо розглядати тонове оптико-електронне зображення з бортової системи оптико-електронного спостереження Ikonos (рис. 1) [16]. Зображення з виділеними границями з використанням детектору границь Канні зі значеннями масштабних коефіцієнтів  $K_m=1; 2; 4; 8; 16$  наведені на рис. 2. Результат об'єднання перетворення Хафа для різних значень масштабного коефіцієнту наведений на рис. 3. Кружечками на рис. 3 позначені локальні максимуму у параметричному просторі.



Рис. 1. Вихідне зображення

Результат роботи методу багатомасштабного оброблення зображень наведений на рис. 4.

З аналізу рис. 4 та результатів роботи [16] встановлено, що багатомасштабне оброблення зображень дозволяє більш якісніше визначати елементи міської інфраструктури на зображеннях з бортових систем оптико-електронного спостереження. Оцінка якості проведена візуально.

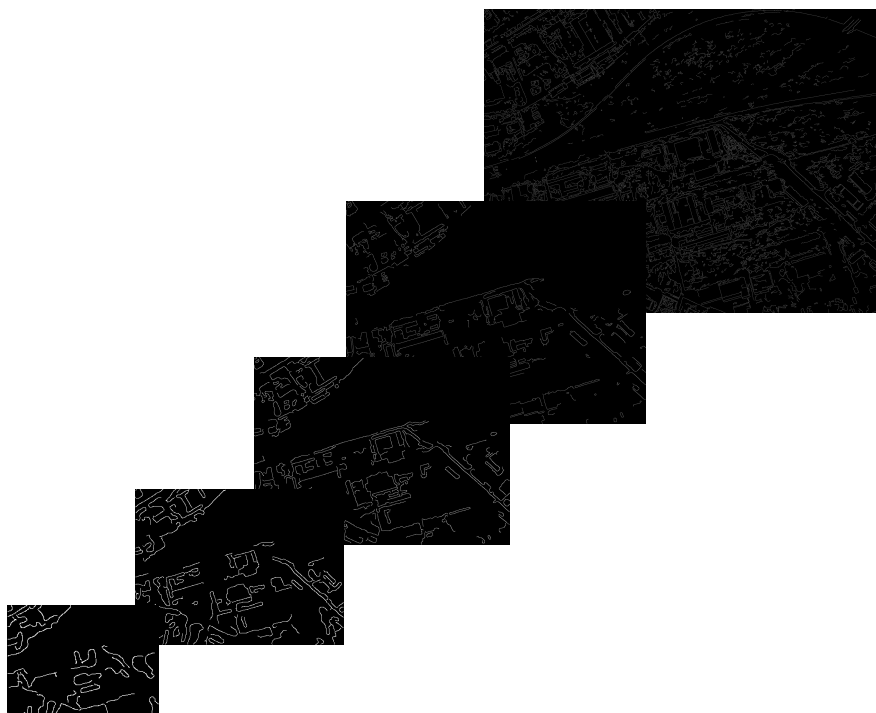


Рис. 2. Зображення з виділеними границями з використанням детектору границь Канні зі значеннями масштабних коефіцієнтів  $K_m=1; 2; 4; 8; 16$

### Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, в роботі запропоновано метод багатомасштабного оброблення зображень з бортових систем оптико-електронного спостереження для визначення елементів міської інфраструктури.

На відміну від відомих, передбачається використання двоетапного методу визначення елементів міської інфраструктури на зображеннях з різним значенням масштабного коефіцієнта, перемасштабу-

вання оброблених зображень з різним значенням масштабного коефіцієнта до вихідного розміру та розрахунок зображення-фільтру, а результуюче оброблене зображення є попіксельним добутком вихідного зображення та зображення-фільтру.

Напрямок подальших досліджень є оцінка кількісних показників якості обробки оптико-електронного зображення (наприклад, помилок обробки першого, другого роду, відстані Кульбака-Лейблера, ентропії обробленого зображення).

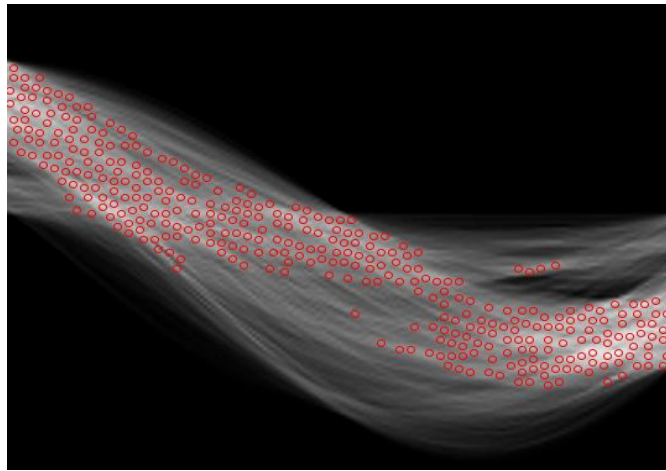


Рис. 3. Результат об'єднання перетворення Хафа для різних значень масштабного коефіцієнту

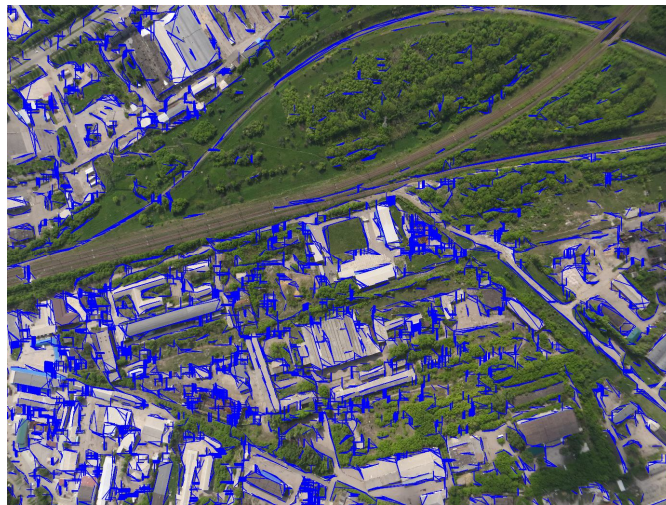


Рис. 4. Результат роботи методу багатомасштабного оброблення зображень

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Walton J. Assessing urban forest canopy cover using airborne or satellite imagery / J. Walton, D. Nowak, E. Greenfield // *Arboriculture and Urban Forestry*. – 2008. – №34(6). – P. 334-340.
- Parmehr E. Mapping urban tree canopy cover using fused airborne lidar and satellite imagery data / E. Parmehr, M. Amati, C. Fraser // *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2016. Vol. III-7. – P. 181-186.
- Гук А.П. Автоматизация дешифрирования снимков. Теоретические аспекты статистического распознавания образов / А.П. Гук // *Известия высших учебных заведений*. – 2015. – № 65. – С. 166–169.
- Хижняк І. А. Метод ройового інтелекту (штучної бджолоїної колонії) тематичного сегментування багатомасштабної послідовності зображень, що отримані з бортової системи оптико-електронного спостереження / І. А. Хижняк // *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. — 2018. — № 2 (56). — С. 105–112.
- Ziou, D. Edge Detection Techniques / D. Ziou, S. Tabbone // *An Overview technical report: Dept Math & Informatique. Universit de Sherbrooke*. – 1997. – № 195. – P. 567–578.
- Bergholm, F. Edge Focusing / F. Bergholm // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 1987. – № 9. – P. 726–741.
- Williams, D. J. Edge Contours Using Multiple Scales / D. J. Williams, M. Shas // *Computer Vision, Graphics and Image Processing*. – 1990. – № 51. – P. 256–274.
- Lacroix, V. The Primary Raster: A Multiresolution Image Description / V. Lacroix // *In Proceedings of the 10th International Conference on Pattern Recognition*. – 1990. – P. 903–907.
- Canny, J. F. A Computational Approach to Edge Detection / J. F. Canny // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 1986. – № 8. – P. 679–698.
- Худов В.Г. Аналіз відомих методів сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження / В.Г. Худов, Г.А. Кучук, О.М. Маковейчук, А.В. Крижний // *Системи обробки інформації*, 2016. – Вип. 9 (146). – С. 77-80.
- Жизняков, А. Л. Формализация некоторых понятий теории обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений / А. Л. Жизняков // *Системы управления и информационные технологии*. – 2007. – № 3 (29). – С. 354–358.
- Жизняков, А. Л. Теоретические основы обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений / А. Л. Жизняков, С. С. Садыков. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 121 с.
- Худов, В. Г. Сегментування багатомасштабної послідовності оптико-електронних зображень мультиагентним методом / В. Г. Худов // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – 2016. – Вип. 1 (37). – С. 107–110.

14. Худов, В. Г. Удосконалений еволюційний метод сегментування багатомасштабної послідовності зображень, отриманих з космічних систем оптико-електронного спостереження / В. Г. Худов, О. М. Маковейчук // Збірник наукових праць ХНУПС. – 2017. – Вип. 3 (52). С. 93–97.
15. Хижняк, І. А. Тематичне сегментування замуленого оптико-електронного зображення роївим методом / І. А. Хижняк, О. М. Маковейчук, В. Г. Худов, І. В. Рубан, Г. В. Худов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2018. – Вип. 1 (47). – С. 146–152.
16. Худов Г. В. Метод виділення об'єктів міської забудови на зображеннях бортових систем оптико-електронного спостереження з використанням перетворення Хафа / Г. В. Худов, О. М. Маковейчук, І. А. Хижняк, Ю. С. Соломоненко, І. Ю. Юзова // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2018. — № 6(52). — С. 20–24.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К. С. Васюта,  
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

Received (Надійшла) 19.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.06.2019

#### Метод многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры

Г. В. Худов, А. Н. Маковейчук, И. А. Хижняк, С. И. Березина, Ю. С. Соломоненко

**Предметом** изучения в статье является метод многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры. **Целью** является разработка метода многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры. **Задачи:** анализ известных методов обработки многомасштабной последовательности изображений, разработка метода многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры, проведение обработки изображения с бортовой системы оптико-электронного наблюдения. Используемыми **методами** являются: методы теории вероятности, математической статистики, методы оптимизации, математического моделирования и цифровой обработки изображений, методы математической логики. Получены следующие **результаты**. Установлено, что известные методы обработки многомасштабной последовательности изображений не могут быть напрямую применены к многомасштабной обработке изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения. Предложено метод многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры. В основу метода положен двухэтапный метод выделения объектов городской инфраструктуры на изображениях бортовых систем оптико-электронного наблюдения с использованием преобразования Хафа. Проведена обработка изображения с бортовой системы оптико-электронного наблюдения с использованием метода многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем. Предложен метод многомасштабной обработки изображений с бортовых систем оптико-электронного наблюдения для определения элементов городской инфраструктуры. В отличие от известных, предполагается использование двухэтапного метода определения элементов городской инфраструктуры на изображениях с разным значением масштабного коэффициента, перемасштабирование обработанных изображений с разным значением масштабного коэффициента к исходному масштабу и расчет изображения-фильтра, а результирующее обработанное изображение является попиксельным произведением исходного изображения и изображения-фильтра.

**Ключевые слова:** изображение, многомасштабная обработка, детектор Канны, преобразование Хафа, объекты городской инфраструктуры.

#### Method of multi-scale treatment of image from on-board optical-electronic observation systems for determining elements of urban infrastructure

H. Khudov, O. Makoveichuk, I. Khizhnyak, S. Berezina, Yu. Solomonenko

The **subject matter** of the article is method of multi-scale image processing from onboard systems of optical-electronic surveillance to determine the elements of urban infrastructure. The **goal** is to development of a method of multi-scale image processing from onboard systems of optical-electronic observation to determine the elements of urban infrastructure. The **tasks** are the analysis of known methods for processing multiscale image sequence, developing a method for multiscale image processing from on-board optical-electronic surveillance systems for determining elements of urban infrastructure, conducting image processing from an on-board optical-electronic monitoring system. The **methods** used are: methods of probability theory, mathematical statistics, optimization methods, mathematical modeling and digital image processing, methods of mathematical logic. The following **results** are obtained. It has been established that the known methods for processing a multiscale image sequence cannot be directly applied to multiscale image processing from onboard systems of optical-electronic observation. The method of multi-scale image processing from onboard systems of optical-electronic observation to determine the elements of urban infrastructure is proposed. The method is based on a two-stage method for the selection of urban infrastructure objects on the images of on-board optical-electronic surveillance systems using the Hough transform. The image was processed from an onboard optoelectronic surveillance system using the method of multiscale image processing from onboard optoelectronic observation systems to determine the elements of urban infrastructure. **Conclusions.** The scientific novelty of the results is as follows. The method of multi-scale image processing from onboard systems of optical-electronic surveillance to determine the elements of urban infrastructure is proposed. In contrast to the known, it is supposed to use a two-stage method of determining the elements of urban infrastructure on images with different scale factor values, rescaling the processed images with different scale factor values to the original scale and calculating the image filter, and the resulting processed image is the pixel product of the original image and image-filter.

**Keywords:** image, multi-scale processing, Canny detector, Hough transformation, objects of urban infrastructure.

# Контроль космічного та повітряного простору

УДК 629.7.016.533.661

doi: 10.26906/SUNZ.2019.3.008

Є. В. Спіркін

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

## КОМПУВАННЯ ВИНИЩУВАЧА МАЛОРОЗМІРНИХ БПЛА ДЛЯ ЗАХИСТУ ЛОКАЛЬНО ОБМЕЖЕНОГО ПРОСТОРУ

Стаття присвячена вирішенню актуальної наукової задачі синтезу аеродинамічного компонування винищувача малорозмірних безпілотних літальних апаратів. Проведений аналіз БПЛА який свідчить про посилення ролі безпілотної авіації в світі. Викладена методика проведення експериментальних досліджень компонувань літальних апаратів в аеродинамічних трубах. Представлена розроблена методика визначення аеродинамічних характеристик компонувань, що містить комплексне використання експериментальних методів та числових методів – методу збурених потенціалів. Характерною рисою компонування крила малого подовження з повітряними гвинтами є відсутність елементів, на які не впливають гвинти. Ця особливість істотно ускладнює проведення та автоматизацію експерименту в аеродинамічній трубці, оскільки існують проблеми забезпечення критеріїв подібності для працюючого повітряного гвинта; складність досягнення ідеального балансування гвинтів з жорстким приводом спричиняє наявність вібрації, рівень якої залежить від неконтрольованих факторів; неможливість знехтувати наявністю впливу тілесних елементів компонування на лопаті повітряних гвинтів; складність безпосереднього виміру тяги та крутного моменту повітряних гвинтів. Такий підхід дозволить поєднати високу достовірність експериментальних при дослідженні фізичної сутності явищ, високу точність визначення аеродинамічних сил при побудові положення вихрової пелени від повітряних гвинтів. Встановлені залежності є основою для розробки рекомендацій з вибору раціональних геометричних параметрів аеродинамічного компонування крила малого подовження з повітряними гвинтами проти-лежного обертання.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, винищувач, аеродинамічні характеристики, аеродинамічне компонування, повітряний гвинт, повітряний простір.

### Вступ

Прогрес у створенні бойових безпілотних авіаційних систем обумовлений людським, економічним і науково-технологічним факторами. Безпілотні літальні апарати відносно дешеві, мають модульну конструкцію, невеликі габарити, малу ефективну поверхню розсіювання та меншу, порівняно з пілотованими бойовими літаками, вразливість від вогню ППО, що робить їх ефективними засобами розвідки, наведення та радіоелектронної боротьби. Поява неметалічних конструкційних матеріалів і прогрес в області мініатюризації бортового встаткування створили об'єктивні передумови для створення малорозмірних БПЛА, або мікро-БПЛА. Основними перевагами бойових мікро-БПЛА є: можливість знизити рівень спостереження; підвищена мобільність за рахунок невеликих габаритів і ваги; високий ступінь боездатності; можливість масованого застосування з високою частотою пусків; зниження вимог до рівня кваліфікації та чисельності обслуговуючого персоналу; значне зниження витрат за рахунок автоматизації виробничих процесів при виготовленні конструкції з композиційних матеріалів.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Аналіз застосування БПЛА свідчить про посилення ролі безпілотної авіації. Так, наприклад, з підвищенням активності конфліктів кількість зафіксованих польотів розвідувальних БПЛА значно зростає. Проте, проблема ефективного

ураження БПЛА в локально обмеженому просторі засобами ППО залишається на теперішній час не вирішеною [1], що обумовлює необхідність розробки винищувачів, основне призначення яких – боротьба з малорозмірними БПЛА в повітрі. Таким чином, розробка спеціалізованого засобу боротьби з БПЛА – винищувача для боротьби з БПЛА в локально обмеженому просторі є актуальним науково-практичним завданням.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Успіх вирішення завдання ураження малорозмірних БПЛА в повітрі залежить від вибору параметрів аеродинамічного компонування винищувача БПЛА. Найважливішими вимогами, які визначають аеродинамічне компонування такого винищувача БПЛА, будуть: вимога забезпечення високих сталих перевантажень і високих значень піднімальної сили для забезпечення переваги над розвідувально-ударними БПЛА (РУ БПЛА) в маневреному повітряному бою; малого опору для забезпечення переваги в швидкості над РУ БПЛА; високих значень максимальної піднімальної сили для забезпечення високих злітно-посадкових характеристик. Вимоги до аеродинамічного компонування винищувача БПЛА суперечливі, що обумовлює необхідність застосування компонувальних рішень з глибокою інтеграцією планера та силової установки. Одним із прикладів таких рішень з глибокою інтеграцією планера та силової установки є використання в якості несучої поверхні літака крила малого подовження, яке в компонуванні з повітряними гвинтами, розташованими на бічних

крайках крила, дозволяє отримати високі значення злітно-посадочних характеристик літака, відкриває можливість здійснення горизонтального польоту на гранично малих еволютивних швидкостях, підвищує максимальну швидкість горизонтального польоту.

Аеродинамічне компонування винищувача БПЛА з крилом малого подовження у взаємодії з повітряними гвинтами протилежного обертання на бічних крайках має ряд переваг над традиційними компонуваннями з крилами помірних та великих подовжень. Однак інтерференційні особливості такого компонування вивчені не достатньо повно, тому встановлення закономірностей інтерференційного впливу компонування крила малого подовження з повітряними гвинтами протилежного обертання для забезпечення переваги в льотно-технічних характеристиках винищувача БПЛА над РУ БПЛА є актуальною науковою задачею.

**Мета статті.** Метою статті є встановлення закономірностей інтерференційного впливу компонування винищувача БПЛА.

### **Виклад основного матеріалу**

Існуючі розробки БПЛА суттєво нерівномірно розподілені по вказаним категоріям [1, 2], найбільш численну групу становлять малогабаритні БПЛА, тобто мікро-БПЛА (з максимальною польотною масою до 5 кг), міні-БПЛА (до 200 кг), а також БПЛА короткого, середнього радіуса дії з максимальною польотною масою до 10 кг. Це обумовлено відносною простотою експлуатації та доступністю, придатністю для виконання військових завдань [2]. Найбільш чисельні БПЛА, які мають наступні основні льотно-технічні характеристики:

- тривалість польоту – 60...120 хв.;
- радіус дії – 10...15 км;
- максимальна злітна вага – 1,5...6,5 кг;
- максимальна швидкість польоту – 80...

120 км/ч.

Можна зробити висновок про те, що БПЛА такого типу будуть типовою ціллю винищувача БПЛА. Отже ставиться завдання синтезу аеродинамічного компонування такого винищувача. Вирішення цього завдання передбачає:

- аналіз шляхів підвищення льотно-технічних характеристик винищувача застосуванням компонування крила малого подовження з повітряними гвинтами протилежного обертання;

- розробку та верифікацію теоретико-експериментальної методики визначення основних аеродинамічних характеристик компонування крила малого подовження з повітряними гвинтами протилежного обертання на бічних крайках;

- проведення параметричних досліджень впливу геометричних та кінематичних параметрів компонування на його аеродинамічні характеристики, виявлення особливості обтікання компонування крила малого подовження з повітряними гвинтами протилежного обертання;

- виявлення закономірності зміни аеродинамічних характеристик компонування крила малого

подовження з повітряними гвинтами протилежного обертання при зміні режимів роботи повітряних гвинтів, кінематичних параметрів обтікання, геометричних параметрів крила;

- розробку практичних рекомендацій конструкторам щодо застосування компонування крила малого подовження з повітряними гвинтами протилежного обертання на винищувачах БПЛА.

Ключовим моментом є розробка надійної теоретико-експериментальної методики визначення основних аеродинамічних характеристик складних просторових аеродинамічних компонувань з повітряними гвинтами.

Проблема інтерференції повітряних гвинтів з планером літака була та є однією з важливіших при формуванні аеродинамічних компонок літальних апаратів. Широке використання повітряних гвинтів на малозшвидкісних літаках обумовлено високим коефіцієнтом корисної дії повітряного гвинта як рушія, однак ефективна тяга гвинтомоторної силової установки істотно залежить від розташування повітряного гвинта на літаку. Крило малого подовження у взаємодії із повітряними гвинтами протилежного обертання на бічних крайках крила має максимально можливий інтерференційний вплив крила з повітряними гвинтами, тому аналіз попередніх досліджень аеродинамічної інтерференції повітряного гвинта з елементами планера літака є актуальним.

Відомо, що перше дослідження аеродинамічної інтерференції гвинта з об'ємним тілом було проведено Ренкіном [3], ним вивчалися співвідношення тяги гребного гвинта й опору корпусу судна, отримані в експериментах як над ізольованими гвинтом і корпусом, так і в складі комбінації "гвинт-тіло". Експериментальні дослідження моторних гондол із працюючим повітряним гвинтом (Дюренд, Фейдж, Коллінз, Леслі, Ведров, Остославський, Халезов) дозволили кількісно оцінити взаємний вплив гондoli й повітряного гвинта [4]. Отримані емпіричні матеріали стали основою напівемпіричної теорії інтерференції (Глаурт, Остославський). Оптимізації компонування силової установки на літаку присвячені роботи [5-8]. Аеродинамічна інтерференція повітряного гвинта й планера також впливає на характеристики стійкості й керованості руху літака з гвинтовими рушіями.

В Україні подібні дослідження представлені в роботах [9-11]. Експериментальні дослідження проблеми інтерференції повітряних гвинтів з планером літака представлені в роботі [12], в якій удосконалена методика випробувань в аеродинамічній трубі моделей літаків з гвинтовими рушіями, встановлена номенклатура поправок до результатів випробувань і розроблені способи їх визначення. Встановлено, що середні квадратичні відхилення вимірів аеродинамічних навантажень, що діють на модель з працюючою силовою установкою, в 1,5 рази вище, ніж у звичайних вагових випробуваннях моделі без силової установки. Показано, що повітряні гвинти впливають на поздовжню стійкість літака, при цьому величина зсуву фокуса по куті атаки визначає-



ся двома домінуючими складовими: впливом струменів на планер і моментом нормальної сили гвинтів. Зроблено висновок про те, що вплив повітряних гвинтів на планер літака аеродинамічного компонування з розміщенням повітряних гвинтів на крилі проявляється в збільшенні потенційної несучої здатності літака, зростанні лобового опору та зниженні аеродинамічної якості.

Експериментальне дослідження аеродинамічної комбінації "крило - повітряний гвинт" значно складніше, ніж дослідження взаємного впливу гвинта та фюзеляжу. У випробуваннях моделі фюзеляжу з працюючим гвинтом експеримент, як правило, зводився до виміру осьових сил, що діють на гвинт і фюзеляж. У випробуваннях моделі комбінації "крило - повітряний гвинт" складність полягає в необхідності одержання значення, як мінімум, трьох компонентів навантаження, що діє на крило, а також значення осьової сили гвинта. Одночасне визначення збільшення лобового опору крила, що обдувається струменем гвинта, і тяги повітряного гвинта ускладнене. Таким чином, отримані в роботах [9-12] експериментальні дані не дозволили повно встановити взаємний вплив крила та повітряного гвинта, особливо, у випадку крил малих подовжень.

У роботах [13-17] показано, що крила малих подовжень мають ряд переваг: вони вигідні у ваговому відношенні, відносно міцності через малі згинальні моменти крила, фокус крил малих подовжень відносно мало зміщується при збільшенні швидкості польоту, а, отже, мало змінюються характеристики подовжньої стійкості. Літальні апарати із крильми малих подовжень мають малі, у порівнянні з літальними апаратами традиційних компонувань, моменти інерції, внутрішній простір таких літальних апаратів дозволяє раціонально розмістити корисний вантаж і екіпаж. Самим істотним недоліком крил малих подовжень є великий індуктивний опір, обумовлений значними кінцевими перетіканнями на бічних краях крила, і, як наслідок, низька аеродинамічна якість.

Порівняльний аналіз крил різного подовження та форм у плані дозволив зробити висновок про те, що максимальна піднімальна сила крил різних форм у плані забезпечується при подовженні порядку від 0,8 до 1,5. У роботах [16, 17] показано, що кінцеві аеродинамічні поверхні дозволяють підвищити аеродинамічну якість літального апарата з крилом малого подовження, розроблене раціональне компонування ЛА з крилом малого подовження та кінцевими крильцями, при якій забезпечуються прийнятні аеродинамічні характеристики та прийнятна подовжня статична стійкість і керованість ЛА, а аеродинамічна якість підвищена приблизно на 3 одиниці по-порівнянню з крилом без кінцевих аеродинамічних поверхонь.

Інтерференція крила малого подовження з повітряним гвинтом в найвищому ступені виявляє себе в компоновці "арочне крило – штовхаючий повітряний гвинт". У відомих роботах В.П. Пустовойтова, М.А. Орлова, М.Н. Міргазова, В.Ф. Сягаєва, С.Н. Зайцева, А.А. Дергачова, А.А. Давтаняна на

основі дослідження ародних крил в аеродинамічних трубах були отримані важливі відомості про характер протікання залежностей сумарних аеродинамічних сил і моментів, що діють на такого роду крило, від кута атаки, а також був досліджений взаємовплив ародного крила і повітряного гвинта. Показано, що система "арочне крило – штовхаючий повітряний гвинт" має унікальні аеродинамічні особливості і є привабливою альтернативою прямому крилу у тому випадку, коли експлуатаційні вимоги обмежують розмах крила до низьких величин або якщо призначення конструкції вимагає великої тривалості польоту при низьких швидкостях.

У роботах [18-21] на основі математичного та натурного моделювання встановлені особливості характеру течії над верхньою поверхнею ародного крила в компоновці "арочне крило – штовхаючий повітряний гвинт", а саме: істотне збільшення піднімальної сили крила і критичного кута атаки за рахунок впливу індуктивного потоку повітря перед повітряним гвинтом, забезпечення значного приросту аеродинамічної якості компоновки в порівнянні з ізольованим ародним крилом. На основі проведених параметричних досліджень отримані залежності аеродинамічної якості компоновки "арочне крило – штовхаючий повітряний гвинт" і тягових характеристик повітряного гвинта від місця розташування гвинта в каналі крила.

Оригінальний проект літака вертикального зльоту та посадки з вертикальним положенням фюзеляжу був запропонований Ч. Ціммерманом в 1933 р. і оформлений у патентній заявці в 1938 р. Особливістю його компонування є використання крила малого подовження ( $\lambda=1$ ), майже круглої форми в плані з двома гвинтами великого діаметра, встановленими з перекриттям у гондолах на кінцях крила. Гвинти обертаються в сторони, протилежні напрямку обертання вихорів, що сходять з кінців крила. Таке розміщення гвинтів повинне було значно зменшити індуктивний опір системи "гвинт-крило" і в результаті одержати аеродинамічну якість 4, що дозволяло, по-перше, досягати великих швидкостей польоту, а по-друге, істотно розширити діапазон швидкостей горизонтального польоту за рахунок зменшення мінімальної швидкості [22, 23]. Передбачалося, що такий літак зможе робити вертикальний зліт і посадку, літати на режимі висіння подібно вертольоту та разом з тим буде мати максимальну швидкість польоту до 800 км/год. Посадка на режимі авторотації з непрацюючими двигунами, можлива для вертольота, не допускалася для такого літака через більше, ніж у вертольотів, навантаження на ометену гвинтами площу та, відповідно, дуже великих швидкостей зниження. Проведені в NASA дослідження повітряних гвинтів показали, що може бути знайдене компромісне рішення, тобто може бути створений гвинт, що одержав назву "ненавантажений пропелер", для якого можна одержати досить високий відносний КПД на режимах вертикального зльоту й посадки та разом з тим високий КПД у горизонтальному польоті ( $\eta = 0,65 \dots 0,85$ ) до швидкостей, що відповідають числу  $M = 0,8$ . Було

встановлено, що в діапазоні швидкостей польоту від 0 до 400 км/ч зміни швидкості обертання гвинтів не потрібно, при збільшенні швидкостей від 400 до 640 км/ч бажано, а при швидкостях більше 640 км/ч – необхідно. Керування в горизонтальному польоті повинне забезпечуватися, як у звичайного літака, за допомогою аеродинамічних поверхонь; на режимах зльоту та посадки аеродинамічні рули повинні зберігати ефективність, тому що вони розташовані в потіці від гвинтів.

Після проведення випробувань масштабних моделей в аеродинамічних трубах фірмою "Чанс-Воут" був побудований в 1941 р. експериментальний літак V-173, який через незвичайне компоновання та особливостей його аеродинамічної схеми було вирішено випробувати в аеродинамічній трубі науково-дослідного центру ім. Ленглі. Експериментальний літак V-173 почав проходити льотні випробування в 1942 р., вони тривали до 1947 р. Обмежена потужність установлених на літаку поршневих двигунів, навіть при використанні величезних трилопатевих гвинтів діаметром 5,03 м, не могла забезпечити вертикальний зліт, але давала можливість літати з мінімальною швидкістю – усього 56 км/год. При злітній масі 1365 кг створювана обома гвинтами максимальна тяга не перевершувала 910 кг, що не забезпечувало вертикальний зліт, тому для зльоту з розбігом літак був постачений спеціальним шасі з довгими головними опорами, за допомогою яких при зльоті фюзеляж займав положення під кутом  $-40^\circ$  до ВПП, що дозволяло робити зліт з коротким розбігом, усього 60 м, і посадку з дуже малим пробігом. Під час літних випробувань в 1942-1947 р. було виконано 210 польотів і були продемонстровані досить задовільні характеристики керованості при малих швидкостях польоту. При зустрічному вітрі 46 км/ч літак міг підніматися вертикально, у польотах досягалася швидкість 222 км/ч і висота 1524 м [22, 23].

В 1943 р. ВМС США уклали контракт із фірмою "Чанс-Воут" на розробку експериментального палубного винищувача суцільнометалевої конструкції, що отримав позначення XF5U-1. Перший політ був виконаний у січні 1947 р., у наступних польотах була досягнута рекордна для того часу швидкість – 811 км/год на висоті 8800 м. Була продемонстрована можливість вертикального зльоту та польоту на режимі висіння при зменшеній злітній масі.

У той же час, у відомих сучасних публікаціях практично відсутні відомості щодо впливу режиму роботи повітряних гвинтів, форми крила та взаємного розташування повітряних гвинтів та крила на протікання аеродинамічних характеристик такого компоновання, інтерференційний вплив крила малого подовження з повітряними гвинтами протилежного обертання на бічних крайках крила вивчено не достатньо повно. Параметричні дослідження геометричних параметрів ае-

родинамічного компоновання крила малого подовження у взаємодії з повітряними гвинтами протилежного обертання на бічних крайках не проводилися, що актуалізує проведення таких досліджень.

У даній статті для визначення АХ крила малого подовження у взаємодії із повітряними гвинтами протилежного обертання на бічних крайках крила, з огляду на економію машинного часу розрахунку та достовірність отримуваних результатів пропонується комплексне використання експериментальних методів та числових методів – методу збурених потенціалів (панельного методу Моріно) для визначення потенціалу тілесних елементів компоновання та модифікованого методу дискретних вихорів (ММДВ) для визначення положення вихрового сліду повітряних гвинтів. Такий підхід дозволить поєднати високу достовірність експериментальних при дослідженні фізичної сутності явищ, які відбуваються при обтіканні крила малого подовження у взаємодії з повітряними гвинтами протилежного обертання на бічних крайках крила, високу точність визначення аеродинамічних сил на основі панельного методу Моріно з ефективним та раціональним застосуванням ММДВ при побудові положення вихрової пелени від повітряних гвинтів.

Дана стаття є узагальненням робіт [24-26]. В розробленій методиці визначення аеродинамічних характеристик компоновання крила малого подовження з повітряними гвинтами протилежного обертання на кожному розрахунковому кроці вимагається виконання умови «непротікання» вихровими відрізками пелени, яка сходить з лопатей гвинтового рушія, панелей, на котрі розбивається поверхня мотогондоли. Визначення положення вихрової пелени за крилом малого подовження з урахуванням нелінійності її просторового положення проводиться за допомогою ММДВ. Структурно-логічна схема сумісного розв'язання задачі обтікання з використанням ММДВ і методу збурених потенціалів в розробленій методиці визначення аеродинамічних характеристик, представлена на рис. 1, елементи, які повторюються при розрахунку по крокам за часом, виділені.



Рис. 1. Структурно-логічна схема сумісного розв'язання задачі обтікання з використанням ММДВ і методу збурених потенціалів

Експериментальні дослідження аеродинамічної інтерференції гвинтових рушіїв і планера літака ускладнені.

При фізичному моделюванні аеродинамічних компонувань з повітряними гвинтами, крім виконання вимог відповідності чисел Рейнольдса та Маха, необхідно витримати відповідність ще безрозмірного параметру – навантаження на площу, що омітається гвинтом:

$$B = P / (q_{\infty} F_{z\theta}),$$

де  $q_{\infty} = \rho_{\infty} V_{\infty}^2 / 2$  – розмірний коефіцієнт швидкісного напору;

$\rho_{\infty}, V_{\infty}$  – густина та швидкість незбуреного потоку;

$F_{z\theta} = \pi d_{z\theta}^2 / 4$  – площа, що омітається гвинтом;

$d_{z\theta}$  – діаметр гвинта.

При моделюванні роботи повітряного гвинта необхідно враховувати безрозмірні параметри  $\bar{\alpha}$  і  $\bar{\beta}$ , які знаходяться із співвідношень:

$$P_{z\theta} = \bar{\alpha} \rho n_c^2 d_{z\theta}^4;$$

$$N = \bar{\beta} \rho n_c^3 d_{z\theta}^5,$$

де  $\bar{\alpha}$  – коефіцієнт тяги повітряного гвинта,

$\bar{\beta}$  – коефіцієнт потужності гвинта,

$P_{z\theta}$  – тяга гвинта,

$N$  – потужність гвинта,

$n_c$  – кількість обертів гвинта в секунду.

При моделюванні роботи повітряного гвинта необхідно задовольнити наступним вимогам:

$$\bar{\alpha} = \text{idem}, \bar{\beta} = \text{idem}, \lambda = \text{idem},$$

де  $\lambda = V / (n_c d_{z\theta})$  – визначальний коефіцієнт швидкості.

Подібність по в'язкості та по стисливості повітря розглядається відносно лопатей повітряного гвинта. З умови відповідності чисел Рейнольдса для подібних радіусів натурного гвинта та його моделі:

$$\omega_{\text{моделі}} = \omega \left( \frac{r}{r_{\text{моделі}}} \right) \left( \frac{b}{b_{\text{моделі}}} \right),$$

де  $\omega = 2\pi n_c$  – кутова частота обертання гвинта.

Виконання умови подібності по в'язкості та по стисливості повітря потребує при випробуваннях моделей гвинтів створення більших кутових частот, при яких впливом стисливості повітря знехтувати вже не можна.

Необхідність виконання умови відповідності чисел Маха:

$$\omega_{\text{моделі}} = \omega \left( \frac{r}{r_{\text{моделі}}} \right)$$

створює суттєву проблему.

Складність експериментального дослідження аеродинамічної інтерференції гвинтових рушіїв і

планера літака також обумовлена необхідністю виміру приросту аеродинамічних навантажень порядку малості нижче першого, оскільки в експерименті необхідно визначити не самі величини піднімальної сили, сили лобового опору від обдування, а їх збільшення для різних положень повітряного гвинта відносно крила. Ця особливість накладає свої вимоги як до експериментального обладнання та вимірювальних пристроїв, так і до методики проведення експерименту.

Неможливість забезпечення одночасного виконання подібності по в'язкості та стисливості повітря при експериментальних дослідженнях аеродинамічної інтерференції гвинтових рушіїв і планера літака, технічні складності проведення та висока вартість таких досліджень обумовлює порівняно малу кількість публікацій, присвячених моделюванню руху ЛА з працюючими повітряними гвинтами [27-29]. Дослідження впливу струменів від повітряних гвинтів проводилися раніше на великомасштабних моделях літаків в великих АДТ (ЦАГИ Т-101). Однак такі дослідження закінчувалися, як правило, після початку льотних випробувань (що обумовлено складністю технічного завдання), тому результати експериментальних досліджень запізнювалися для аналізу забезпечення безпеки початкових випробувальних польотів літака [29]. Це, в свою чергу, актуалізує проведення експериментальних досліджень аеродинамічного компонування крила малого подовження у взаємодії з повітряними гвинтами, обумовлює необхідність використання чисельних методів аеродинаміки.

Як відомо, АДТ є високоточним приладом, призначеним для отримання аеродинамічних характеристик з максимально можливою достовірністю. Досконалість АДТ як приладу залежить від якості повітряного потоку в робочій частині та від точності приладів, які вимірюють аеродинамічні навантаження та параметри потоку [30, 31]. АДТ малих дозвукових швидкостей Т-1 Харківського національного університету Повітряних Сил безперервної дії з відкритою робочою частиною призначена для дослідження аеродинамічних характеристик моделей літаків на режимах зльоту, посадки та малих швидкостей польоту.

Обґрунтування достовірності результатів розрахунку проведено шляхом порівняння результатів розрахунку за створеною методикою з даними проведених фізичних експериментів, фізичними експериментами та числовими розрахунками інших авторів і аналітичними розв'язаннями.

Аналіз представлених залежностей [8&] дозволив зробити висновок про кількісно добре співпадіння відомих та отриманих експериментальних даних, що свідчить про працездатність розробленої методики для визначення аеродинамічних характеристик повітряних гвинтів.

Характерною рисою компонування крила малого подовження з повітряними гвинтами є відсутність елементів, на які не впливають гвинти. Ця особливість істотно ускладнює проведення та автоматизацію експерименту в аеродинамічній трубі,



оскільки існують проблеми забезпечення критеріїв подібності для працюючого повітряного гвинта; складність досягнення ідеального балансування гвинтів з жорстким приводом спричиняє наявність вібрації, рівень якої залежить від неконтрольованих факторів; неможливість знехтувати наявністю впливу тілесних елементів компонування на лопаті повітряних гвинтів; складність безпосереднього виміру тяги та крутного моменту повітряних гвинтів.

Таким чином, можливості проведення вагового експерименту в аеродинамічній трубі обмежені, що робить доцільним комбіноване використання експериментальних і чисельних методів аеродинаміки.

Для визначення впливу кута атаки компонування та режиму роботи повітряних гвинтів на несучі властивості компонування крила малого подовження з повітряними гвинтами протилежного обертання було обрано компонування двох чотирьохлопатевих повітряних гвинтів, складених з лопатей повітряного гвинта СДВ-1 та прямого крила подовженням 1, 2, 4 одиниці, панельна модель компонування представлена на рис. 2.

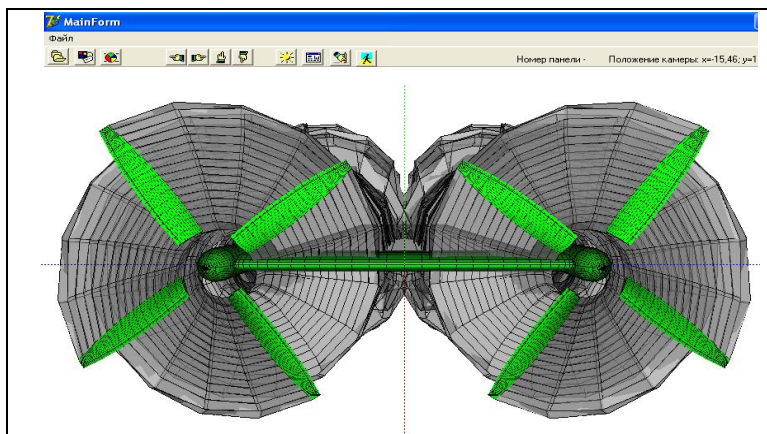


Рис. 2. Панельна модель компонування чотирьохлопатевих повітряних гвинтів протилежного обертання, мотогондולי та прямого крила

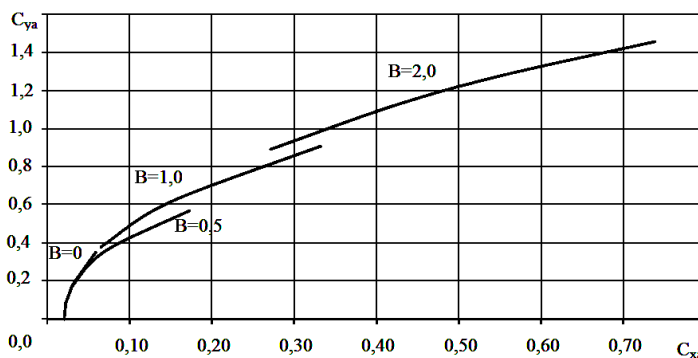


Рис. 3. Залежність коефіцієнту аеродинамічної піднімальної сили крила від коефіцієнту лобового опору та режиму роботи повітряних гвинтів при  $Re = 116500$

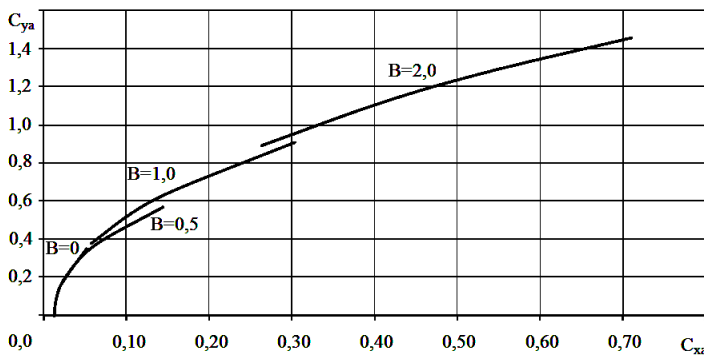


Рис. 4. Залежність коефіцієнту аеродинамічної піднімальної сили крила від коефіцієнту лобового опору та режиму роботи повітряних гвинтів при  $Re = 116500$

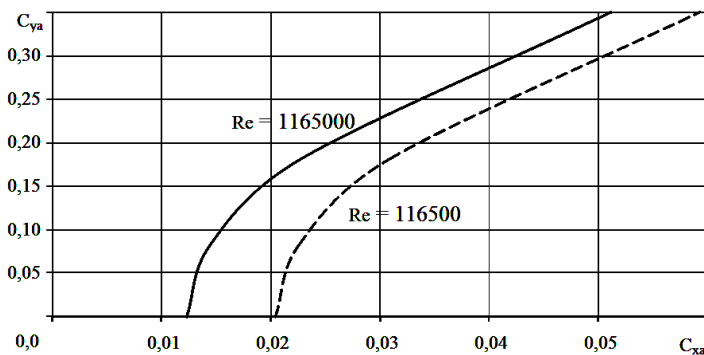


Рис. 5. Залежність коефіцієнту аеродинамічної піднімальної сили ізолюваного крила від коефіцієнту лобового опору при  $Re = 116500$

На рис. 3-5 представлені отримані за розробленою методикою залежності коефіцієнту аеродинамічної піднімальної сили крила подовженням 1 одиниця від коефіцієнту лобового опору та режиму роботи повітряних гвинтів (коефіцієнту навантаження на площу повітряного гвинта  $B$ ) при числах  $Re = 116500$  та  $Re = 1165000$ , розрахованому по хорді крила.

Аналіз представлених залежностей (рис. 3-5) та залежностей для крил інших подовжень та чисел  $Re$  дозволив сформулювати полуміричні формули залежностей коефіцієнту аеродинамічної піднімальної сили від кута атаки компонування та режиму роботи повітряних гвинтів

На рис. 6-13 представлені отримані за розробленою методикою поля індуктивних швидкостей за компонуванням. Аналіз поля індуктивних швидкостей на рис. 6-10 дозволяє зробити висновок про те, що наявність крила, яке обдувається закрученими у протилежні сторони струменями від повітряних гвинтів, призводить до суттєвої несиметричності в площині  $ZOX$  у порівнянні з ізолюваними гвинтами (рис. 11-13), та, головне, до зниження інтенсивності кінцевих вихорів крила.



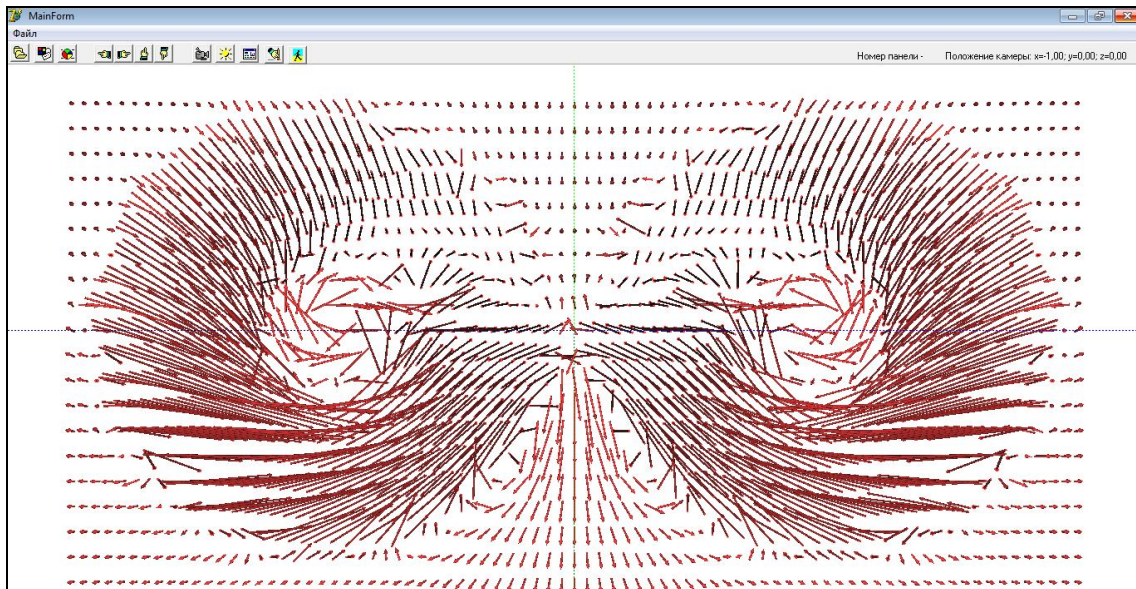


Рис. 6. Поле швидкостей при  $\alpha=0^\circ$ ,  $B=1$  ( $C_{ya}=0,097$ )

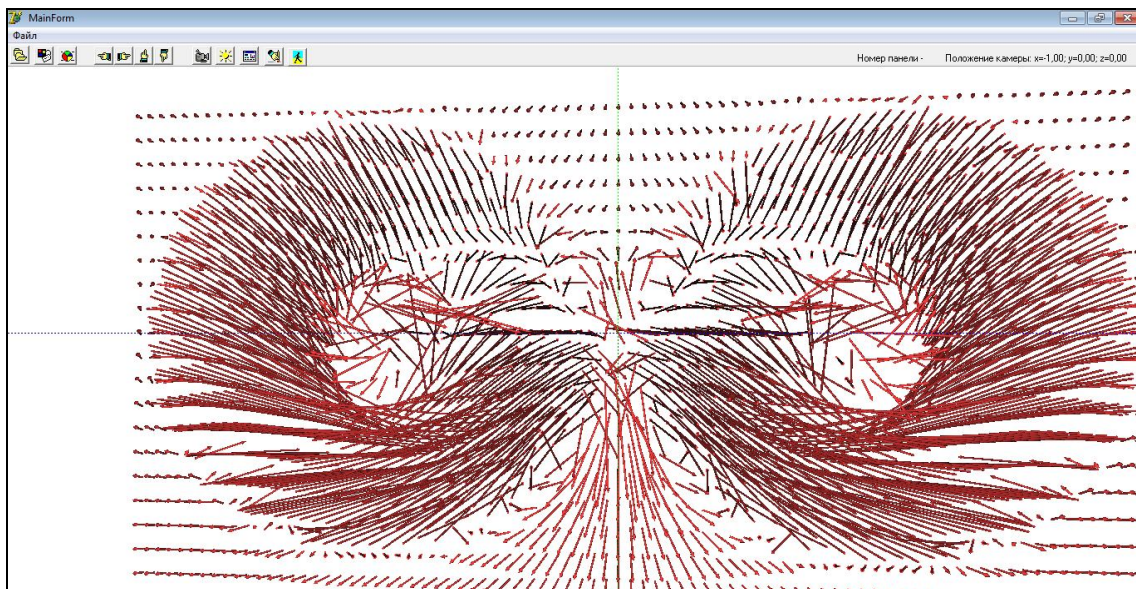


Рис. 7. Поле швидкостей при  $\alpha=0^\circ$ ,  $B=2$  ( $C_{ya}=0,1728$ )

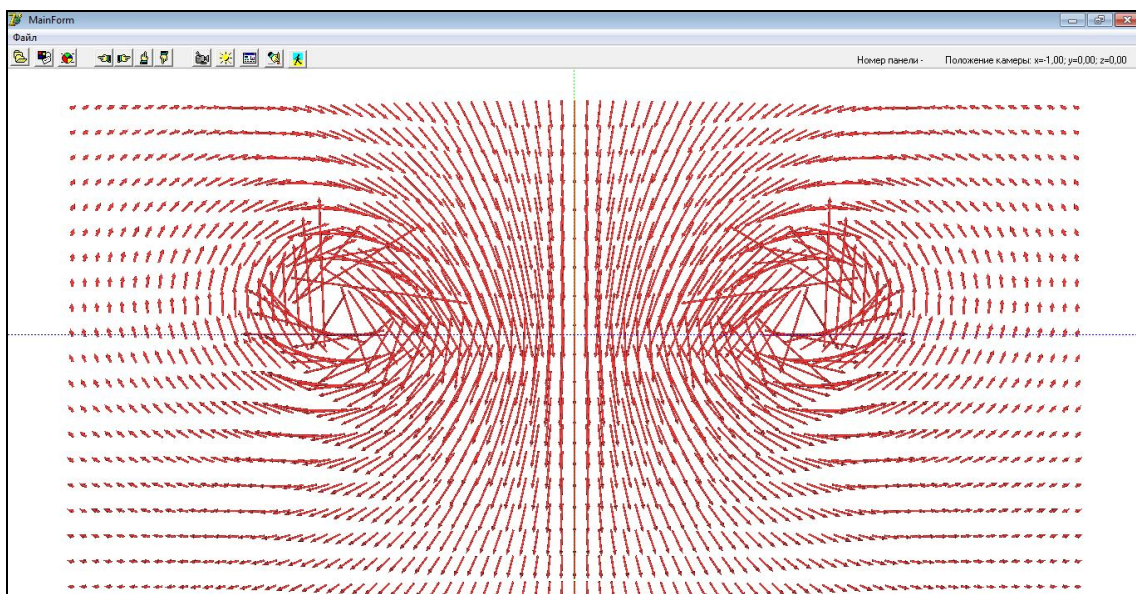


Рис. 8. Поле швидкостей при  $\alpha=10^\circ$ ,  $B=0$



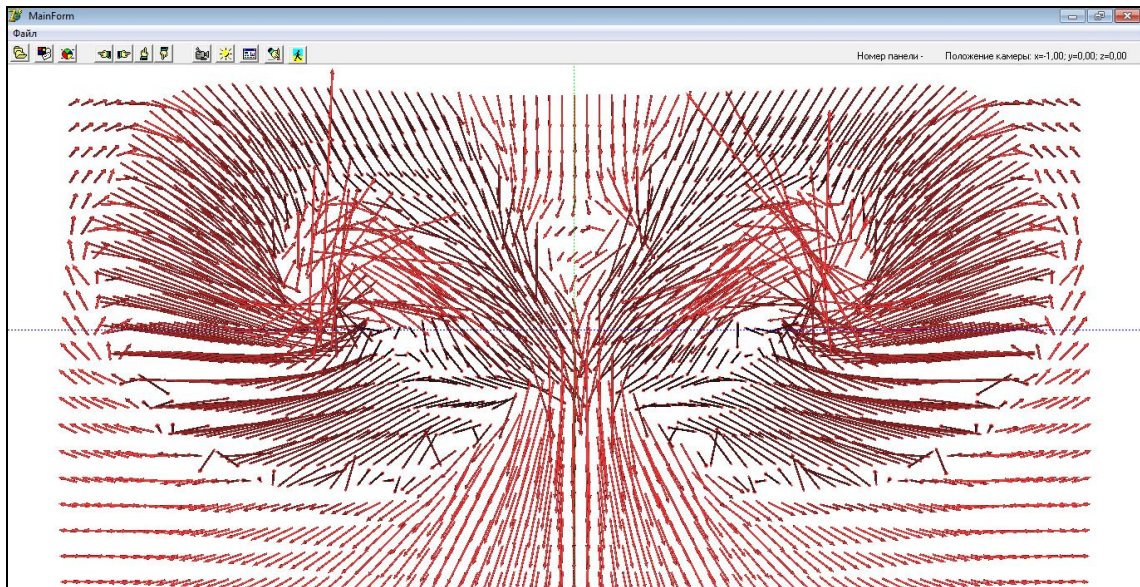


Рис. 9. Поле швидкостей при  $\alpha=10^\circ$ ,  $B=1$

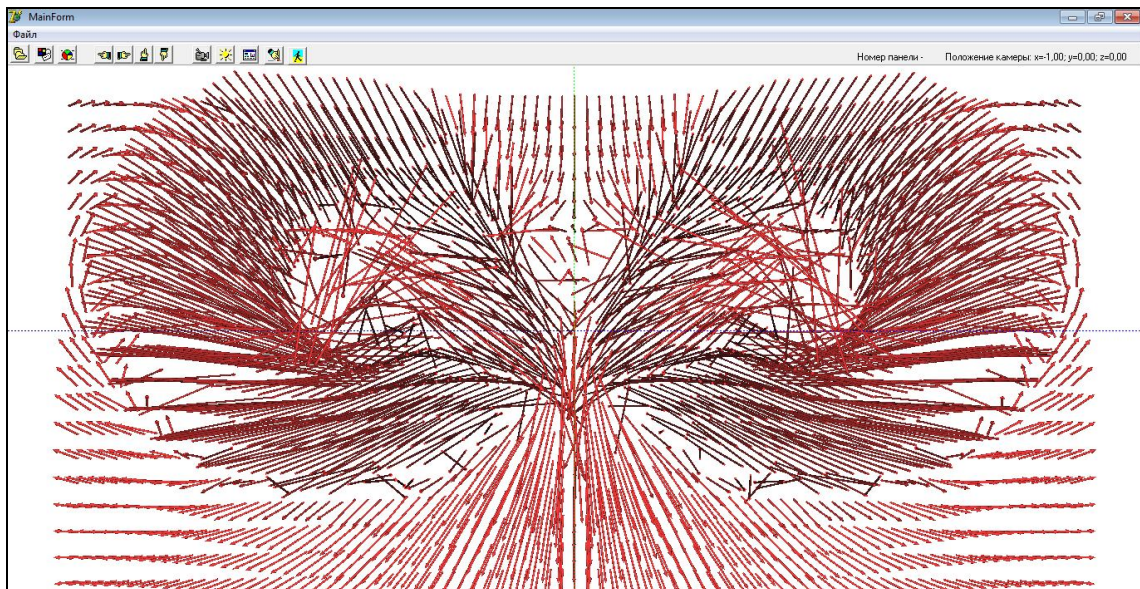


Рис. 10. Поле швидкостей при  $\alpha=10^\circ$ ,  $B=2$

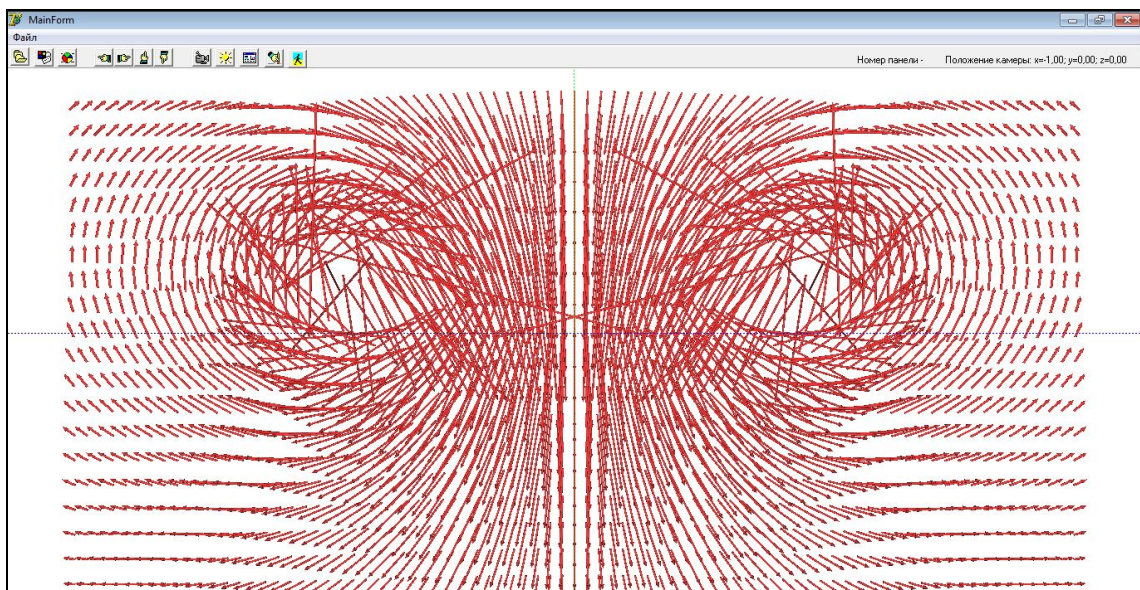
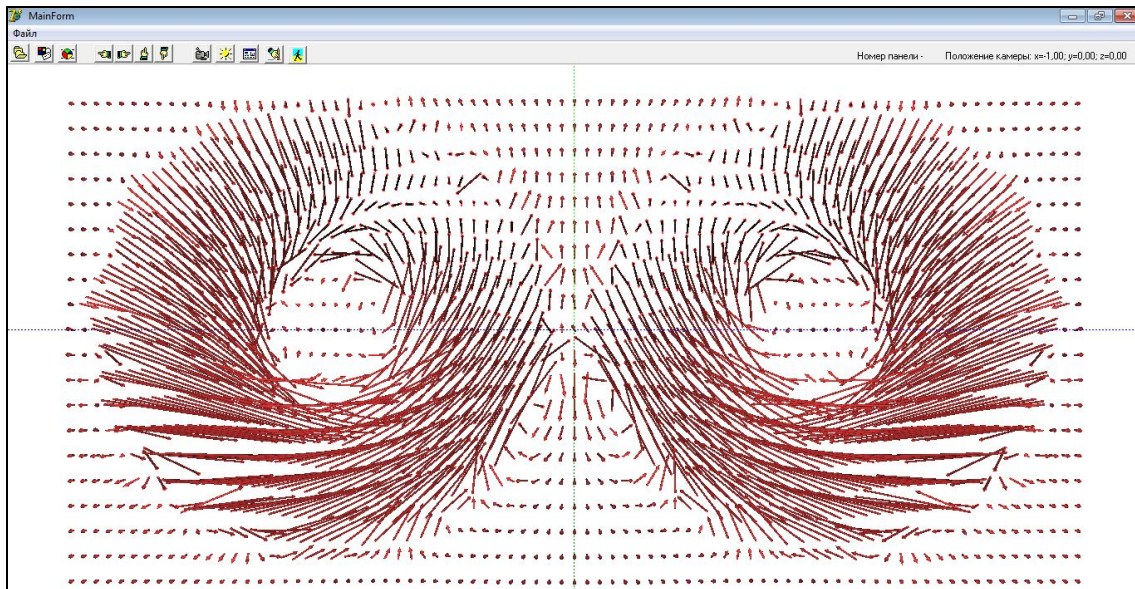
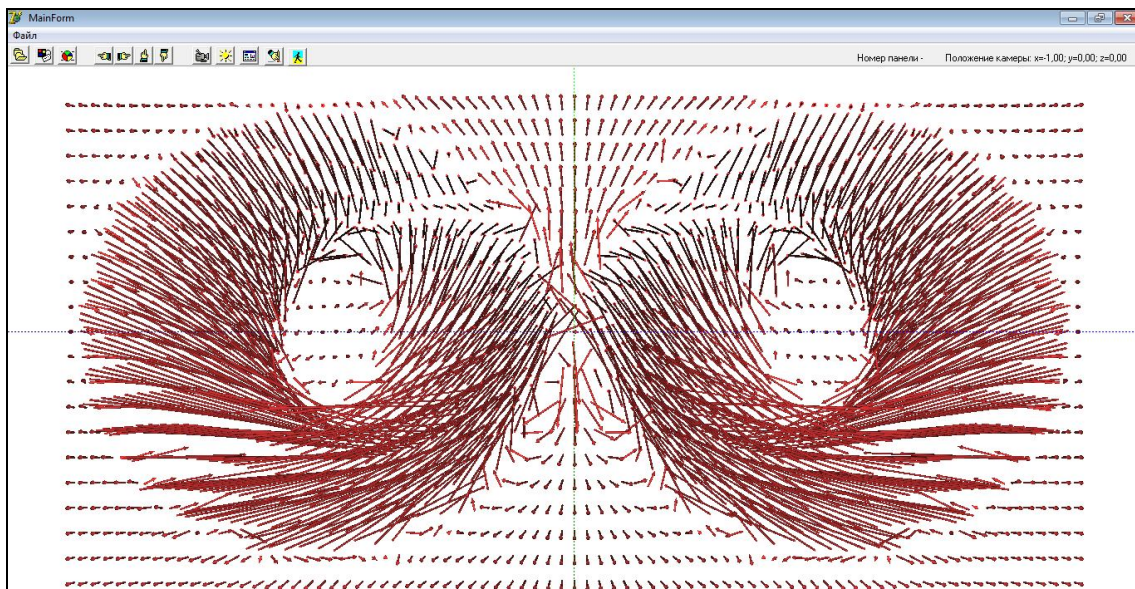


Рис. 11. Поле швидкостей при  $\alpha=20^\circ$ ,  $B=0$



Рис. 12. Поле швидкостей при  $\alpha=0^\circ$ ,  $B=1$  (ізолювані гвинти)Рис. 13. Поле швидкостей при  $\alpha=0^\circ$ ,  $B=2$  (ізолювані гвинти)

Зниження інтенсивності кінцевих вихорів крила призводить до зниження індуктивного опору компонування, та, як наслідок, до збільшення швидкості польоту.

Характер течії не має протиріч з відомим характером течії за крилом малого подовження. Близько розташовані повітряні гвинти суттєво взаємовпливають один на інший.

Так, порушується симетричність закручених струменів за повітряними гвинтами (рис. 11-13), виявлено поява вторинних вихорів при зустрічному русі закручених струменів за повітряними гвинтами. При цьому зі збільшенням навантаження на повітряні гвинти (збільшенням коефіцієнту  $B$ ) збільшується несиметричність закручених струменів за повітряними гвинтами та інтенсивність вторинних вихорів.

Встановлені залежності аеродинамічних характеристик компонування крила малого подовження з

повітряними гвинтами протилежного обертання від геометричних та кінематичних параметрів компонування дозволили отримати полуемпіричні формули залежності коефіцієнту аеродинамічної підйомної сили від геометричних та кінематичних параметрів компонування для інших подовжень та звужень крил, та можуть бути основою для розробки рекомендацій з вибору раціональних геометричних параметрів аеродинамічного компонування крила малого подовження з повітряними гвинтами протилежного обертання.

### Висновки

В результаті комплексного теоретичного та експериментального дослідження вирішено наукове завдання встановлення залежності аеродинамічних характеристик компонування винищувача БПЛА, а саме крила малого подовження з повітряними гвинтами протилежного обертання від геометричних та

кінематичних параметрів компоновання, важливої при створенні безпілотної авіаційної техніки військового призначення. Для вирішення цього завдання розроблено теоретико-експериментальну методику визначення аеродинамічних характеристик компоновання крила малого подовження з повітряними гвинтами протилежного обертання, яка на відміну від відомих комплексно використовує експеримен-

тальні (для визначення меж використання числових методів та верифікації даних числових експериментів) та числові (для параметричних досліджень) методи аеродинаміки.

Розроблена методика є основою підвищення обґрунтованості рекомендацій з поліпшення льотно-технічних характеристик компоновань безпілотної літальних апаратів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В.С. Фетисов, Л.М. Неугодникова, В.В. Адамовский, Р.А. Красноперов; Под ред. В.С. Фетисова. – Уфа: ФОТОН, 2014. – 217 с.
2. Малогабаритные беспилотные авиационные комплексы: [монографія] / [Башинский В.Г., Бзот В.Б. та ін., всього 9 авторів]. – Запоріжжя: «АО Моторсiч», 2014. – 262 с.
3. Rankine W.J. On the Mechanical Principles of the Action of Propellers / Rankine W.J. // Transactions Institute of Naval Architects. – Volume VI. – 1865. – P. 13-39.
4. Аэродинамика. Том IV. Прикладная теория крыла и фюзеляжа самолета; теория воздушного винта; влияние воздушного винта на части самолета. Под ред. Дюрэнда В.Ф. ред. пер. В.В. Голубев. – М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1940. – 462 с.
5. Wood D.H., Bioletti C. Tests of Nacelle-Propeller Combinations in Various Positions with Reference to Wings. Part VI. Wings and Nacelles with Pusher Propeller. NASA TR-507, 1934. – P. 619-649.
6. Борин А.А. Влияние обдувки частей самолета струей от винта на характеристики взлета и разбега / Борин А.А. // Труды ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского. – М.: Изд. Отдел ЦАГИ, 1970. – Вып. 1278. – 16 с.
7. Золотко Е.М. Подъемная сила крыла, обдуваемого струей от винтов, при изменении коэффициента нагрузки на ометаемую винтом площадь от 0 до  $\infty$  / Золотко Е.М. // Труды ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского. – М.: Изд. Отдел ЦАГИ, 1984. – Вып. 2235. – С. 3-10.
8. Труды ЦАГИ, вып. 1312, 1971. Наумов С.Я., Пустовойтов В.П., Руденя В.И. Методика расчета влияния воздушных винтов на аэродинамические характеристики самолета. – 40 с.
9. Українець Е.А. Аэродинамические характеристики несущих систем летательных аппаратов с соосными винтовыми двигателями / Українець Е.А. // Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.01. – К.: КМУЦА, 1998. – 148 с.
10. Миргород Ю.І. Дослідження впливу кількості лопатей на ступінь нестационарності струменя за гвинтовим рушієм / Миргород Ю.І., Калкаманов С.А., Українець Є.О. // Зб. наук. праць Харківського інституту льотчиків – Х.: ХІІ, 1998 – Вып. 2 – С. 44-47.
11. Гоцак В.В. Методика розрахунку аеродинамічних характеристик складних компоновань / Гоцак В.В., Українець Є.О. // Збірник наукових праць ХІ ВПС – Х.: ХІ ВПС, 2003. – Вып. 1 (9) – С. 11-16.
12. Деришев С.Г. Аэродинамическая интерференция воздушных винтов и планера двухдвигательного самолета / Деришев С.Г. // Дис. ... канд. техн. наук: 01.02.05. – Новосибирск, 2000. – 171 с.
13. Лемко О.Л. "Летающие крылья". История и возможные пути развития / Лемко О.Л. – К.: НЦ ВВС ВСУ, 2002. – 91 с.
14. Луков Г.И. Исследование при малых скоростях физической картины распределения завихренности потока около моделей самолета схем «бесхвостка» и «утка» с крылом малого удлинения / Луков Г.И., Киселева А.М. // Труды ЦАГИ. – 1987. – Вып. 2341. – С. 3-29.
15. Degani D. Thin us full Navier-Stokes computation for high – angle – of - attack aerodynamics / Degani D., Mareus S.W. // AIAA Journal. – 1997. – Vol 35, №3. – P. 565-567.
16. Коваль М.О. Аеродинамічні компоновки перспективних літаків вертикального зльоту та посадки / Коваль М.О., Калкаманов С.А., Чигрин Р.М. // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Сборник научных трудов Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков: НАКУ, 2004. – Вып. 36(1). – С. 37-42.
17. Калкаманов С.А. Методика расчета обтекания дискообразного крыла потоком идеальной жидкости / Калкаманов С.А., Чигрин Р.М. // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – НАКУ «ХАИ», 2003. – Вып. 21. – С. 63-66.
18. Корнієнко А.П. Методика розрахунку аеродинамічних характеристик системи "арочне крило – штовхаючий гвинт" / Корнієнко А.П., Українець Є.О., Мокрий Ю.В. // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Сб. науч. трудов. – Харьков: НАКУ "ХАИ", 2004. – Вып. 39 (4). – С. 71-79.
19. Корнієнко А.П. Экспериментальные исследования характера обтекания изолированных прямого и арочного крыльев / Корнієнко А.П. // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2005. – № 42(3). – С. 118-123.
20. Корнієнко А.П. Экспериментальные исследования картины распределения давления по поверхности арочного крыла в системе "арочное крыло – толкающий воздушный винт" / Корнієнко А.П. // Збірник наукових праць ХУПС. – Харків: ХУПС, 2005. – Вып. 5(5). – С. 10-13.
21. Корнієнко А.П. Оценка влияния относительного положения воздушного винта на аэродинамические характеристики комбинации "арочное крыло – воздушный винт" / Корнієнко А.П., Леонтьев А.Б., Українець Е.А. // Системы обработки информации. – Харків: ХУПС, 2006. – Вып. 4 (53). – С. 87-94.
22. Кудишин И.В. Раритеты американской авиации / Кудишин И.В. – М.: АСТ, 2001. – 160 с.
23. Ружицкий Е.И. Американские самолеты вертикального взлета / Ружицкий Е.И. – М.: Астрель АСТ, 2000. – 193 с.
24. Українець Е.А. Аэродинамические характеристики несущих систем летательных аппаратов с соосными винтовыми двигателями // Дис. ... канд. техн. наук: 05.07.01. – К.: КМУЦА, 1998. – 148 с.

25. Гоцак В.В. Методика розрахунку аеродинамічних характеристик складних компоновань / В. В. Гоцак, Є.О. Українець // Збірник наукових праць ХІВПС. – Харків: ХІВПС. – 2003. – Вип. 1(9). – С. 11 – 16.
26. Гоцак В.В. Синтез методу збурених потенціалів та методу дискретних вихорів для розрахунку нелінійних нестационарних аеродинамічних характеристик літаків / В.В. Гоцак // Збірник наукових праць ХУПС. – Харків: ХУПС. – 2005. – Вип. 3(3). – С. 29 – 31.
27. Радциг А.Н. Экспериментальная гидроаэромеханика / А.Н. Радциг. – М.: МАИ, 2004. – 296 с.
28. Miranda, L.R. and Brennan, J.E.: "Aerodynamic effects of wing tip mounted propellers and turbines", AIAA 86-1802, 1986, pp. 221-228
29. И.С.Васин Исследование влияния струй от воздушных винтов на аэродинамические характеристики самолета // Научный вестник МГТУ ГА. – № 151. – 2010. – С. 39-43.
30. Радциг А.Н. Модельный эксперимент в аэродинамических трубах / А.Н. Радциг, Н.В. Семенчиков. – М.: Изд-во МАИ, 1992. – 65 с.
31. Журавлев В.Н. Аэродинамический комплекс ХАИ – основные этапы развития и научной деятельности [текст] / В.Н. Журавлев – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 156 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Є. О. Українець

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Received (Надійшла) 12.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.06.2019

### **Аэродинамическая компоновка истребителя БПЛА для защиты локально ограниченного пространства**

Е. В. Спиркин

Статья посвящена решению актуальной научной задачи синтеза аэродинамической компоновки истребителя малоразмерных беспилотных летательных аппаратов. Проведенный анализ БПЛА свидетельствующий об усилении роли беспилотной авиации в мире. Изложена методика проведения экспериментальных исследований компоновок летательных аппаратов в аэродинамических трубах. Представлена разработанная методика определения аэродинамических характеристик компоновок, содержащий комплексное использование экспериментальных методов и численных методов - метода возмущенных потенциалов. Установлены зависимости аэродинамических характеристик компоновки крыла малого удлинения с воздушными винтами противоположного вращения от геометрических и кинематических параметров компоновки. Анализ установленных зависимостей позволяет сделать вывод о количественно хорошее совпадение известных и полученных экспериментальных данных, свидетельствует о работоспособности разработанной методики для определения аэродинамических характеристик воздушных винтов. Характерной чертой компоновки крыла малого удлинения с воздушными винтами является отсутствие элементов, на которые не влияют винты. Эта особенность существенно затрудняет проведение и автоматизацию эксперимента в аэродинамической трубе, поскольку существуют проблемы обеспечения критериев подобия для работающего воздушного винта; сложность достижения идеальной балансировки винтов с жестким приводом вызывает наличие вибрации, уровень которой зависит от неконтролируемых факторов; невозможность пренебречь наличием влияния телесных элементов компоновки на лопасти воздушных винтов; сложность непосредственного измерения тяги и крутящего момента воздушных винтов. Такой подход позволит совместить высокую достоверность экспериментальных при исследовании физической сущности явлений, высокую точность определения аэродинамических сил при построении положения вихревой пелены от воздушных винтов. Установлены зависимости является основой для разработки рекомендаций по выбору рациональных геометрических параметров аэродинамической компоновки крыла малого удлинения с воздушными винтами противоположного вращения.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, истребитель, аэродинамические характеристики, аэродинамическая компоновка, воздушный винт, воздушное пространство.

### **Aerodynamic layout of ship-based fighter for fight with UAVs**

E. Spirkin

The developed method of determination of aerodynamic characteristics of layouts, which contains complex use of experimental methods and numerical methods - the method of perturbed potentials, is presented. The dependences of the aerodynamic characteristics of the layout of the wing of small elongation with the propellers of opposite rotation on the geometric and kinematic parameters of the layout are established. The analysis of the established dependences allows us to conclude that the well-known and obtained experimental data are well-coincidental, indicating the performance of the developed methodology for determining aerodynamic characteristics of air propellers. A characteristic feature of the layout of the wing with small propellers is the absence of elements that are not affected by the screws. This feature greatly complicates the conduct and automation of the experiment in the aerodynamic tube, since there are problems of providing similarity criteria for the operating air screw; the difficulty in achieving an ideal balancing of hard drive screws causes the presence of vibration, the level of which depends on uncontrolled factors; the impossibility of neglecting the presence of the influence of the physical elements of the layout on the blade of air screws; complexity of direct measurement of thrust and torque of air propellers. This approach will combine the high reliability of the experimental in the study of the physical nature of phenomena, high accuracy of the determination of aerodynamic forces in the construction of the position of the vortex harness from the air propellers. Dependent dependencies are the basis for developing recommendations on the choice of rational geometric parameters of the aerodynamic layout of the wing of small elongation with the air screws of opposite rotation.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, fighter, aerodynamic characteristics, aerodynamic layout, propeller air space.

В. В. Гордійчук

Інститут Військово-Морських Сил Національного університету  
“Одеська морська академія”, Одеса, Україна

## МЕТОДИКА АДАПТИВНОГО ВИБОРУ ТА СИНТЕЗУ РАЦІОНАЛЬНИХ СИГНАЛЬНО-КODOVIХ КОНСТРУКЦІЙ ПЕРСПЕКТИВНИХ ПРОГРАМОВАНИХ РАДІОЗАСОБІВ В УМОВАХ СКЛАДНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ОБСТАНОВКИ

Однією з важливих характеристик систем і засобів радіозв'язку, які функціонують в умовах радіоелектронного подавлення, є інформаційна стійкість, що є здатністю систем і засобів радіозв'язку протистояти дії засобам радіотехнічної боротьби. Одним з напрямків підвищення завадозахищеності та скритності засобів радіозв'язку (ЗРЗ) є зміна режимів роботи та параметрів сигналу в ході ведення сеансу радіозв'язку. Проведений автором статті аналіз відомих наукових джерел показав те, що вони орієнтовані на позиційні сигнально-кодові конструкції, які мають відому структуру та, відповідно, низьку розвідзахищеність. Тому пропонується використання непозиційних сигналів, зокрема таймерні сигнально-кодові конструкції. Автором статті проведено розробку методики вибору режимів роботи перспективних програмованих радіостанцій в умовах впливу навмисних завад на основі таймерних сигнальних конструкцій. В ході дослідження використані основні положення теорії зв'язку, теорії радіоелектронної боротьби, теорії сигналів та загальнонаукові методи аналізу та синтезу. Розроблено методику вибору режимів роботи перспективних програмованих радіостанцій в умовах впливу навмисних завад, сутність якої полягає у виборі виду технології формування сигнально-кодових конструкцій, режиму роботи та параметрів програмованих засобів радіозв'язку в залежності від сигнально-завадової обстановки. Основними режимами роботи є технології псевдовипадкової перестройки робочої частоти на основі таймерних сигнальних конструкцій та частотного мультиплексування з ортогональним кодовим розділенням на основі таймерних сигнальних конструкцій. Зазначена методика підвищує ефективність засобів радіозв'язку при дії навмисних завад та частотно-селективних завмирань за рахунок зміни режимів роботи засобів радіозв'язку із застосуванням адаптивних алгоритмів формування і обробки сигналів. В методиці, у порівнянні з запропонованими раніше, реалізовано декілька режимів роботи та здійснюється вибір раціональних значень параметрів сигналу для кожного з режимів роботи засобів радіозв'язку. Враховуючи зазначене, напрямком подальших досліджень слід вважати розробку науково-методичного апарату щодо використання таймерних сигнальних конструкцій в перспективних засобах зв'язку та підвищення їх завадозахищеності.

**Ключові слова:** система радіозв'язку, радіоресурс, інформаційна стійкість, завадозахищеність, радіоелектронне подавлення, радіоелектронна розвідка.

### Вступ

Основними вимогами до сучасних військових систем і засобів радіозв'язку є [1]:

повна мобільність всіх абонентів і елементів системи радіозв'язку;

висока оперативність доставки повідомлень абонентам;

забезпечення заданої якості обслуговування користувачів на значних географічних територіях в умовах застосування як звичайної, так і ядерної, біологічної та хімічної зброї, а також засобів радіоелектронного подавлення;

забезпечення безперервності бойового управління для будь-яких умов рельєфу місцевості;

висока структурна стійкість системи (живучість і надійність);

висока пропускну здатність каналів зв'язку;

висока завадозахищеність окремих радіозасобів і системи радіозв'язку у цілому.

Однією з важливих характеристик систем і засобів радіозв'язку, які функціонують в умовах радіоелектронної боротьби є їх здатність протистояти

засобам радіоподавлення – завадозахищеність. Вона передбачає здатність отримувати та відтворювати інформацію на приймальній стороні після впливу навмисних завад різного типу.

Іншою, не менш важливою характеристикою засобів зв'язку в умовах радіоелектронної боротьби є їх розвідзахищеність.

Під розвідзахищеністю розуміють здатність систем і засобів радіозв'язку протистояти дії радіотехнічної розвідки.

Радіотехнічна розвідка передбачає послідовне виконання трьох основних задач:

виявлення факту роботи системи (засобу) радіозв'язку (виявлення сигналу);

визначення структури виявленого сигналу і його основних параметрів;

розкриття інформації, яка міститься в сигналі.

Відповідно до цих задач можна визначити основні види скритності: енергетичну, структурну, інформаційну, просторову і часову.

Структурна скритність спрямована на виключення або суттєве ускладнення розкриття структури (виду) сигналів системи (засобу) радіозв'язку.



**Метою** статті є методика адаптивного вибору та синтезу раціональних сигнально-кодкових конструкцій перспективних програмованих радіозасобів в умовах впливу навмисних завад.

### Виклад основного матеріалу

У роботах [2, 3] досліджено основні властивості таймерних сигнальних конструкцій (ТСК), на основі чого здійснено аналіз основних можливостей таймерних сигнальних конструкцій щодо підвищення рівня захисту інформації, а саме: стійкості передаваних повідомлень до завад (завадостійкості), а також їх енергетичної, структурної та інформаційної скритності (розвідзахищеності).

Розглянемо інтервалі часу

$$T_c = nt_0,$$

де  $n$  – кількість найквістових елементів;  $t_0$  – їх тривалість.

Встановлено, що значення моментів модуляції таймерного сигналу, сформованого на цьому інтервалі часу, на відміну від розрядно-цифрового сигналу кратні ні  $t_0$ , а деякому базовому елементу  $\Delta$ , де  $\Delta = t_0/s$ ;  $s = \overline{1, l}$  – цілі числа.

У канал передаються відрізки сигналу тривалістю

$$t_c = t_0 + k\Delta,$$

де  $k = \overline{0, s \cdot (n-2)}$ .

Енергетична відстань між сигнальними конструкціями визначається величиною  $\Delta < t_0$ , тому кількість їх реалізацій  $N_p$  на інтервалі  $T_c$  значно більше в порівнянні з позиційним кодом

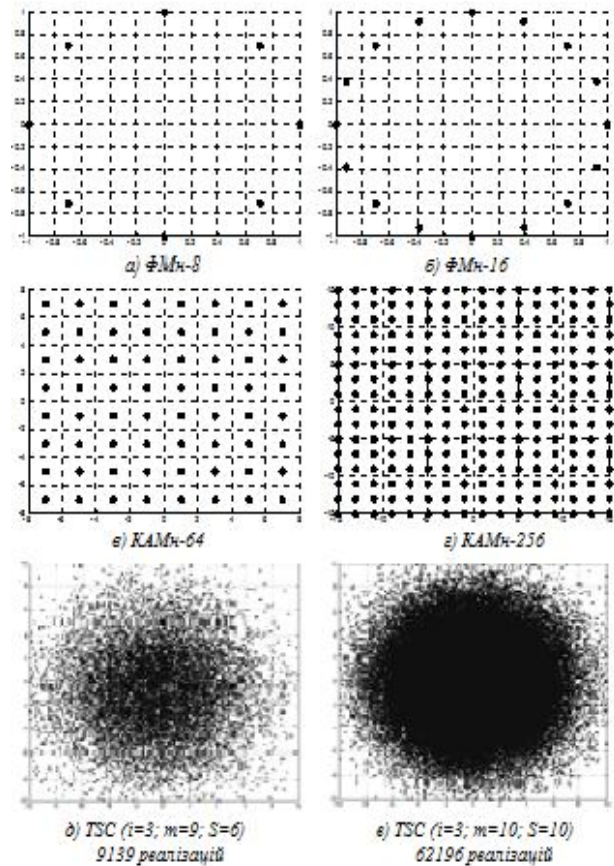
$$N_p = \sum_{i=1}^n \frac{[(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i]]!}{i! \cdot [(n \cdot s) - [(s-1) \cdot i]] - i!}, \quad (1)$$

а збільшення ансамблю реалізацій  $N_p$  таймерних сигналів і числа, спільно аналізованих конструкцій  $N_a$ , зменшує ймовірність їх розкриття рінф.

Зміна параметрів  $n$ ,  $S$  і  $i$  дає можливість на виході кодера таймерних сигнальних конструкцій отримувати різні безлічі сигнальних конструкцій. Крім того, при посимвольному аналізі, ми бачимо, що значущі моменти модуляції в кодовому слові нееквідистантні, а реалізації процесу формування кодового слова з ростом  $m$  і  $S$  все більше розкидані і невідтворювані (рис. 1).

Частота зміни параметрів  $n$ ,  $S$ ,  $i$  та відповідних їм таблиць перекодування вибирається такою, щоб накопичені станцією радіотехнічної розвідки статистичні дані по числу перехоплених реалізацій таймерних сигнальних конструкцій не давали можливості досить швидко розпізнати інформаційний зміст передаваного повідомлення, зокрема шляхом відтворення з використанням детектору циклостаціонарності. завдяки їх нерегулярності, яка досягається за рахунок нееквідистантності символів в ко-

довому слові та кодкових слів в повідомленні між собою.



**Рис. 1.** Векторні діаграми сигнальних сузір'я цифрових сигналів з лінійною модуляцією та таймерних сигнальних конструкцій

**Висновок** – доцільність побудови перспективних радіозасобів на основі ТСК, як таких, що забезпечують високу розвідзахищеність.

**Постановка завдання.**

Задано:  $\Psi = \{\psi_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , де  $\Psi_1 \dots \Psi_n$  – кількість (сукупність) піднесучих, кількість робочих частот для перестройки, коефіцієнт розширення спектру, потужність передавача, відношення сигнал/шум в каналі (задається для кожного підканалу окремо), діапазон робочих частот, види модуляції, мінімально необхідна швидкість передачі інформації (необхідна пропускна спроможність), смуга пропускання каналу зв'язку, набір коригувальних кодів з відповідними параметрами:

швидкість коригувального коду, граничне значення відношення сигнал/шум в каналі, при якому коригувальний код починає давати вигоду порівняно з модуляцією без кодування.

Початковий режим роботи, який забезпечує мінімально необхідну швидкість передачі інформації  $V_{idon}$ , передбачає використання усіх піднесучих та



робочих частот, багатопозиційної квадратурної амплітудної маніпуляції (КАМ-М) та багатопозиційної фазової маніпуляції (ФМ-М).

Необхідно: визначити режим роботи засобів радіозв'язку, при якому забезпечується мінімальна ймовірність біткової помилки при виконанні обмежень на швидкість передачі в каналі  $v_i \geq v_{i \text{ доп}}$ .

Обмеження:

режими роботи – FHSS та MC-OCDM,  
параметри сигнально-кодових конструкцій (СКК) в залежності від обмежень, закладених в методах для режимів роботи;

кількість піднесучих OFDM-сигналу  $4 \leq N \leq 128$  та кількість робочих частот для формування частотно-часової матриці FHSS  $4 \leq N \leq 128$ ;

тип модемів – когерентні;  
тип завад – адитивні.

Завдання визначення раціонального режиму роботи засобів радіозв'язку з мінімальною ймовірністю біткової помилки зводяться до типової оптимізаційної задачі.

Система рівнянь для розв'язання оптимізаційної задачі має вигляд [4–7]:

$$\begin{cases} P_6 = F_1(v_i, \Delta F, M, n, R, d, P_c, N_A, \sigma) \rightarrow \min; \\ v_i = F_2(M, R, N_A, \Delta F, v_{\text{пер}}, d, \sigma) \geq v_{i \text{ доп}}. \end{cases} \quad (2)$$

Методика вибору режимів роботи перспективних програмованих радіостанцій, алгоритм реалізації якої подано на рис. 2, складається з таких етапів.

Дія 1. Введення вихідних даних.

Вводяться параметри передавального пристрою і каналу зв'язку  $\Psi = \{\psi_i\}$ , максимальна ентропія та тривалість повідомлення для передачі коротких особливо важливих повідомлень;

також вводяться значення мінімально необхідної швидкості передачі  $v_{i \text{ доп}}$  та ймовірності біткової помилки  $P_6$ .

Дія 2. Оцінка стану каналу зв'язку.

Оцінка відбувається методом [8], основні етапи:

визначається модель каналу;  
визначається алгоритм прийняття рішень на приймальній стороні (оптимальний, підоптимальний);  
визначення типу завад та завмирань сигналу.

Дія 3. Здійснення вибору режиму роботи засобу радіозв'язку для передачі "звичайної інформації".

Під час виконання зазначеної дії здійснюється вибір режиму роботи програмованих засобів радіозв'язку.

Детально розглянемо та обґрунтуємо правило вибору режиму роботи для засобів спеціального радіозв'язку.

Для каналів з адитивним білим гаусівським шумом ймовірність біткової помилки  $P_6$  залежить від відношення сигнал-шум  $Q_0^2$  на прийомі.

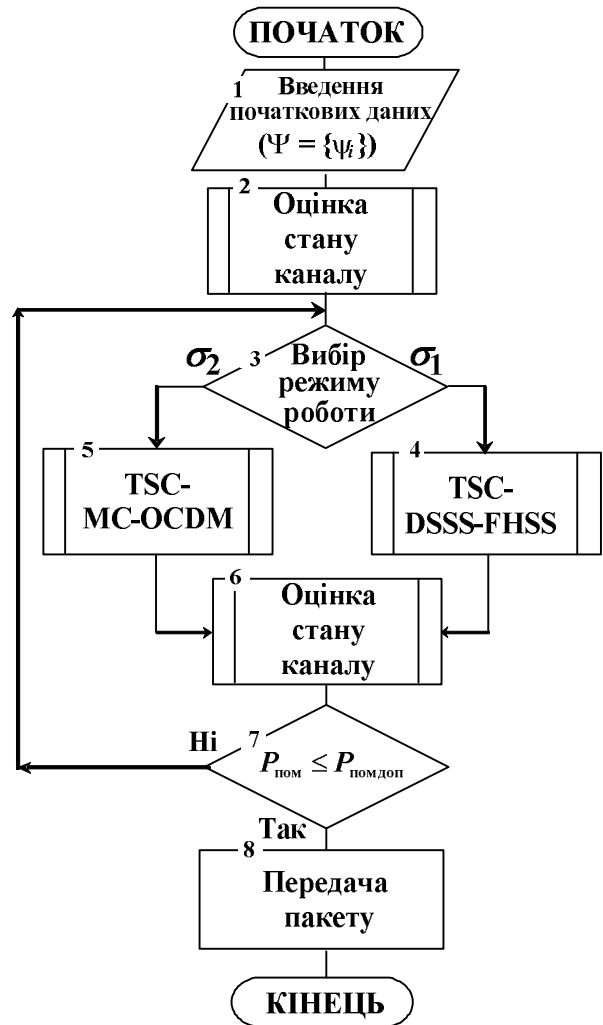


Рис. 2. Схема алгоритму реалізації комбінованої методики адаптивного вибору режимів роботи перспективних програмованих радіозасобів

В середовищі поширення потужність сигналу змінюється з відстанню або з часом випадковим чином – в результаті екранування та/або багатопроменевого поширення. Тому в каналі з завмираннями відношення сигнал/шум  $Q_0^2$  є випадковою величиною.

Ймовірність біткової помилки  $P_6$  можна охарактеризувати за допомогою 3-х показників:

– ймовірність переривання зв'язку  $P_{\text{пер}}$ , що визначається як ймовірність того, що відношення сигнал/шум  $Q_0^2$  стане менше заданого значення, що відповідає мінімальній допустимій ймовірності біткової помилки;

– середня ймовірність біткової помилки  $P_{6 \text{ сер}}$ , що усереднена по розподіленню від відношення сигнал/шум  $Q_0^2$ ;

– комбінація середньої ймовірності біткової помилки  $P_{6 \text{ сер}}$  та ймовірності перерви радіозв'язку, що визначається як середня ймовірність біткової помилки, яка може бути досягнута на протязі деякого часу, або в деякому просторі.

В роботі розглядаються найбільш складні за-  
вмирання, що описуються законом Релея (у яких  
відсутня регулярна складова сигналу (з постійними  
параметрами)).

Фаза завмираючого сигналу  $\Theta_{zv}$  розподілена  
за рівномірним законом в інтервалі  $[0, 2\pi]$  [5].

Розрахуємо ймовірність перерви зв'язку для  
релеєвських завмирань [5]:

$$P_{пер} = \int_0^{Q_{\min}^2} \frac{1}{Q_{\text{сеп}}^2} e^{-Q_{\min}^2 / Q_{\text{сеп}}^2} dQ_{\text{сеп}}^2 = \quad (3)$$

$$= \left(1 - e^{-Q_{\min}^2}\right) / Q_{\min}^2.$$

Звідси отримуємо, що необхідне середнє зна-  
чення відношення сигнал/шум  $Q_{\text{сеп}}^2$ , що забезпечує  
задану ймовірність перерви зв'язку, описується та-  
ким виразом:

$$Q_{\text{сеп}}^2 = -Q_{\min}^2 / \ln(1 - P_{пер}). \quad (4)$$

В децибелах це означає, що значення  
 $10 \log Q_{\text{сеп}}^2$  повинно перевищувати задане мінімаль-  
не значення  $10 \log Q_{\text{сеп}}^2$  на величину

$$F_d = -10 \log \left[ -\ln(1 - P_{пер}) \right], \quad (5)$$

щоб підтримати прийнятні якісні показники на про-  
тязі більш ніж  $100 \cdot (1 - P_{пер})$  відсотків часу. Вели-  
чину  $F_d$ , як правило, називають запасом на зав-  
мирання [5].

Отже, на підставі виразів (3)-(5) в якості першої  
умови зміни режиму роботи візьмемо ймовірність  
перерви зв'язку  $P_{пер}$ . Розрахуємо енергетичний  
запас на завмирання  $F_d$  для сигналів типу ФМ-2,  
ФМ-4, ФМ-8 та КАМ-16 на підставі виразу (5).

У табл. 1 наведений енергетичний запас на зав-  
мирання  $F_d$  для сигналів типу ФМ-2, ФМ-4, ФМ-8  
та КАМ-16 для підтримання ймовірності бітової  
помилки  $10^{-4}$ .

Таблиця 1 – Енергетичний запас на завмирання  
 $F_d$  для сигналів типу ФМ-2,  
ФМ-4, ФМ-8 та КАМ-16

Модуляція	$P_6$	$F_d$
ФМ-2	$10^{-4}$	21,4 дБ
ФМ-4	$10^{-4}$	21,8 дБ
ФМ-8	$10^{-4}$	26,6 дБ
КАМ-16	$10^{-4}$	29,3 дБ

У табл. 2 наведені вимоги, що висуваються до  
передачі інформації у перспективних системах пе-  
редачі інформації.

Правило вибору ґрунтується на вимогах, що  
висуваються до різних видів інформації у перспек-  
тивних системах передачі інформації та наведені у  
табл. 2 [8–10]:

$$\sigma = \begin{cases} \sigma_1 \text{ при } 10^{-1} \leq P_{\sigma 1} \leq 10^{-3}, \\ \quad v_i \text{ пот} \geq v_i \text{ доп} \leq v_1, \\ \quad t_3 < t_3 \text{ доп ППРЧ} < t_3 \text{ доп OFDM}; \\ \sigma_2 \text{ при } 10^{-4} \leq P_{\sigma 2} \leq 10^{-6}, \\ \quad v_i \text{ пот} \geq v_i \text{ доп} \leq v_2, \\ \quad t_3 < t_3 \text{ доп OFDM} > t_3 \text{ доп ППРЧ}. \end{cases} \quad (6)$$

Проводиться обґрунтування обмеження для  
кожного з основних режимів роботи засобів радіо-  
зв'язку.

Як перший режим роботи  $\sigma_1$  обрано TSC-  
DSSS-FHSS, а як *другий*  $\sigma_2$  – TSC-MC-OCDFM.

На підставі інформації, що наведена в табл. 2,  
умовно здійснено поділ:

– на групи вимоги до ймовірності бітової по-  
милки:

$$10^{-1} \leq P_{\sigma 1} \leq 10^{-3} \text{ та } 10^{-4} \leq P_{\sigma 2} \leq 10^{-6};$$

– на групи вимоги до швидкості передачі =  
8-32 кбіт/с та більше 384 кбіт/с.

Таблиця 2 – Вимоги, що висуваються до передачі інформації у перспективних системах передачі інформації

Тип інформації	Пропускна спроможність	$P_6$	Затримка при передачі інформації
Низькошвидкісний голосовий потік	8-32 кбіт/с	$10^{-2}$	< 250 мс
Аварійний виклик	8-32 кбіт/с	$10^{-4}$	250 мс -5 сек
Короткі текстові повідомлення	10 кБ	$10^{-3}$	> 10 сек
Тактичний чат	100 кБ	$10^{-3}$	5 мс -10 сек
Критичні повідомлення команд та управління	10 кБ	$10^{-3}$	250 мс -5 сек
Передача файлів	10 МБ	$10^{-6}$	>1 хв.
Відео в режимі реального часу	>384кбіт/с	$10^{-6}$	(< 250 мс)

Вибір режимів роботи та параметрів режимів проводиться на основі аналізу стану каналу зв'язку з метою уточнення наявності в ньому навмисних завад та частотно-селективних завмирань, аналізу інформації, що передається, та порівняння з вимогами, що висуваються до передачі відповідного виду повідомлення.

*Дія 4. Синтез СКК з допомогою технології TSC-FHSS.*

Обрання параметрів TSC здійснюється відповідно до стану каналу на основі принципів, описаних в [2, 3], псевдовипадкова перебудова робочої частоти TSC здійснюється за методом, описаним в [7].

*Дія 5. Синтез сигнально-кодових конструкцій з допомогою технології TSC-MC-OCDM.*

Обрання параметрів TSC здійснюється відповідно до стану каналу на основі принципів, описаних в [2, 3], частотне мультиплексування та ортогональне кодове розділення каналів TSC здійснюється за методами, описаними в [10–13].

*Дії 6, 7, 8. Оцінка стану каналу зв'язку. Перевірка виконання вимог з завадозахищеності для кожного з режимів.*

За допомогою запропонованих в [14] методів аналізу стану каналів зв'язку, здійснюється оцінювання стану каналу зв'язку.

У разі відповідності параметрам, що задовольняють типу інформації, яка передається каналом зв'язку, здійснюється передача пакету якщо ні, здійснюється передача пакету з інформацією про теперішній стан каналу зв'язку для коригування вибору режиму роботи.

## Висновки

Розроблено комбіновану методику адаптивного вибору режимів синтезу раціональних сигнально-кодових конструкцій на основі таймерних сигнальних конструкцій перспективних радіостанцій в умовах впливу навмисних завад, сутність якої полягає у виборі виду технології формування сигнально-кодових конструкцій, режиму роботи та параметрів програмованих засобів радіозв'язку в залежності від сигнально-завадової обстановки за критерієм мінімуму ймовірності бітової помилки при виконанні обмежень на швидкість передачі інформації. Основними режимами роботи є технології псевдовипадкової перестройки робочої частоти на основі таймерних сигнальних конструкцій та ортогональним частотно-кодовим розділенням на основі таймерних сигнальних конструкцій.

Зазначена методика передбачає підвищення ефективності засобів радіозв'язку при дії навмисних завад та частотно-селективних завмирань за рахунок зміни режимів роботи засобів радіозв'язку із застосуванням адаптивних алгоритмів формування і обробки сигналів, зокрема зміцнення інформаційної стійкості шляхом підвищення завадозахищеності та структурної скритності (розвідзахищеності) передаваних повідомлень.

В методиці, у порівнянні з запропонованими раніше, реалізовано декілька режимів роботи та здійснюється вибір раціональних значень параметрів сигналу для кожного з режимів роботи засобів радіозв'язку на основі інтегрованих технологій з використанням таймерних сигнальних конструкцій.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гордійчук В, Сергієнко В., Міщенко А., Шишацький А., Поздняков П. Аналіз технічних характеристик засобів радіоелектронної розвідки Російської Федерації // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. №1 (53) – Полтава: ПолНТУ, 2019 – С. 142-146.
2. Захарченко М.В. Сравнение позиционного и таймерного кодирования / М.В. Захарченко, В.В. Гордійчук, С.М. Горохов, А.В. Кочетков // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. – К.: ВПІ. – № 1. – 2016. – С. 59-63.
3. Захарченко М.В., Гордійчук В.В., Горохов С.М., Седов К.С. (2016). "Position and timer coding comparison for code word duration  $T_{ck} = mt_0$ " // British journal of innovation in science and technology vol 3, issue 2, P: 5-9.
4. Гордійчук В.В. Методика підвищення завадозахищеності систем радіозв'язку з ортогональним частотним мультиплексуванням на основі використання таймерних сигнальних конструкцій / В.В. Гордійчук // Сучасні інформаційні системи. – 2018. – Том 2, № 4. – С. 108-113. – DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.4.18>
5. Шишацький А.В. Методика управління режимами роботи програмованих засобів радіозв'язку / А.В. Шишацький, О.Г. Жук, Р.М. Животовський // Збірник наукових праць "Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України". – Харків: ХУПС, 2016. – № 2(23). – С. 135-137.
6. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81. – DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>
7. Кучук Г.А. Метод оценки характеристик АТМ-трафика / Г.А. Кучук // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, – 2003. – № 6. – С. 44–48.
8. Зінченко А. О. Вдосконалений метод контролю стану каналу зв'язку із селективними завмираннями та навмисними завадами / А. О. Зінченко Р. М. Возняк // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – № 3 (15). – 2012. – С. 19-22.
9. Корчинский В. В. Повышение скрытности передачи на основе псевдослучайной перестройки рабочей частоты и таймерных сигналов / В. В. Корчинский // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ" : сб. науч. тр. Темат. вып. : Новые решения в современных технологиях. – Харьков : НТУ "ХПИ". – 2012. – № 66 (972). – С. 63-67.
10. Корчинський В. В. Підвищення захищеності передавання на основі мультиплексування таймерних сигнальних конструкцій / В. В. Корчинський, В.Й. Кільдшєв, К.О. Осадчук // Научные труды ОНАС им. А.С. Попова – 2018. – №1 (2018). – С. 94-97.
11. 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.

12. Горохов Ю.С. Метод кодового розділення каналів на основі таймерних сигнальних конструкцій / Ю.С. Горохов, В.В. Корчинский, Е.М. Рудий // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2016. – №1. – С. 208-211.
13. Кучук Г.А. Минимизация загрузки каналов святой вычислительной сети / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вип. 1(5). – С. 149-154.
14. Кувшинов О. В. Синтез алгоритмів контролю якості каналу зв'язку при впливі навмисних завад / О. В. Кувшинов, О. В. Жук // Збірник наукових праць ВПІ НТУУ „КПІ”. – № 1. – 2011. – С. 100-105.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. Г. Семенов,  
Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків  
Надійшла (received) 02.04.2019  
Прийнята до друку (accepted for publication) 15.05.2019

### **Методика адаптивного вибору та синтезу раціональних сигнально-кодових конструкцій перспективних програмованих радіозасобів в умовах складної радіоелектронної обстановки**

В. В. Гордейчук

Одной из важных характеристик систем и средств радиосвязи, функционирующих в условиях радиоэлектронного подавления, является информационная стойкость, которая является способностью систем и средств радиосвязи противостоять действию средствам радиотехнической борьбы. Одним из направлений повышения помехозащищенности и скрытности средств радиосвязи является изменение режимов работы и параметров сигнала в ходе ведения сеанса радиосвязи. Проведенный автором статьи анализ известных научных источников показал, что они ориентированы на позиционные сигнально-кодовые конструкции, которые имеют известную структуру и, соответственно, низкую разведзащищенность. Посему предлагается использование непозиционных сигналов, в частности таймерных сигнально-кодовых конструкций. Автором статьи проведена разработка методики выбора режимов работы перспективных программируемых радиостанций в условиях воздействия преднамеренных помех на основе таймерных сигнальных конструкций. В ходе исследования использованы основные положения теории связи, теории радиоэлектронной борьбы, теории сигналов и общенаучные методы анализа и синтеза. Разработана методика выбора режимов работы перспективных программируемых радиостанций в условиях воздействия преднамеренных помех, суть которой заключается в выборе вида технологии формирования сигнально-кодовых конструкций, режима работы и параметров программируемых средств радиосвязи в зависимости от сигнально-помеховой обстановки. Основными режимами работы являются технологии псевдослучайной перестройки рабочей частоты на основе таймерных сигнальных конструкций и частотного мультиплексирования с ортогональным кодовым разделением на основе таймерных сигнальных конструкций. Указанная методика повышает эффективность средств радиосвязи при действии преднамеренных помех и частотно-селективных замираний за счет изменения режимов работы средств радиосвязи с применением адаптивных алгоритмов формирования и обработки сигналов. В методике, по сравнению с предложенными ранее, реализовано несколько режимов работы и осуществляется выбор рациональных значений параметров сигнала для каждого из режимов работы средств радиосвязи. Учитывая указанное, направлением дальнейших исследований следует считать разработку научно-методического аппарата по использованию таймерных сигнальных конструкций в перспективных средствах связи и повышение их помехозащищенности.

**Ключевые слова:** система радиосвязи, радиоресурс, информационная стойкость, помехозащищенность, радиоэлектронное подавление, радиоэлектронная разведка.

### **Method of selection of modes of the powered programmable radio work in the conditions of influence of capabilities in the basis of timer signal constructions**

V. Hordiichuk

One of the important characteristics of radiocommunication systems and facilities that operate under conditions of electronic suppressing is the information stability that is the ability of systems and radio communication equipment to withstand the actions of the means of radio control. One of the directions of increase of noise immunity and stealth of radio communication is the change of operating modes and parameters of the signal during the conduct of the radiocommunication session. The analysis of well-known scientific sources by the author of the article showed that they are oriented on positional signal-code structures, which have a known structure and, accordingly, a low resolution protection. Therefore, the use of non-positional signals, in particular timer signal-code designs, is proposed. The author of the article conducted the development of a method for selecting the modes of operation of promising programmable radio stations under conditions of deliberate interference on the basis of timer signals. In the course of the study, we used the basic provisions of the theory of communication, the theory of electronic warfare, the theory of signals, and general scientific methods of analysis and synthesis. The method of selecting the modes of operation of promising programmable radio stations in the conditions of the influence of deliberate interferences, the essence of which is to choose a type of technology for the formation of signal-code structures, mode of operation and parameters of programmable radio communication equipment, depending on the signal-interference situation. The main modes of operation are pseudorandom-frequency resettlement of the operating frequency based on timer signal structures and frequency multiplexing with orthogonal code division based on timer signal constructions. The said methodology increases the efficiency of radio communication facilities in the course of deliberate interference and frequency-selective fading due to changes in the modes of operation of radio communication equipment with the use of adaptive algorithms for the formation and processing of signals. In the method, in comparison with the ones proposed earlier, several modes of operation are realized and the choice of rational values of the signal parameters for each of the operating modes of radio communication is carried out. Taking into account the above, the direction of further research should be considered the development of scientific and methodical apparatus on the use of timer signal structures in perspective communication tools and increase their noise immunity.

**Keywords:** radio communication system, radio resource, noise immunity, radio electron suppression, radioelectronic intelligence, stealth.

А. М. Денисенко, Г. С. Грінченко, В. М. Бурдейна, Ю. С. Лис

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна

## МЕТОДИКА УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ВИРОБІВ МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Метою статті є розробка методичних рекомендацій, щодо створення методики управління ризиками при розробленні, підтриманні та управлінні системою управління якістю, відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 13485:2016 «Вироби медичні. Системи управління якістю. Вимоги щодо регулювання». У статті розглянуті етапи та алгоритм створення методики оцінювання та управління ризиками, яка необхідна для створення системи управління якістю при виробництві виробів медичного призначення. Для оцінювання ймовірності настання збитку застосовують постійну 5-ти бальну шкалу описових рівнів ймовірності, яка визначається і характеризується експертами перед проведенням оцінки ймовірностей збитків встановлених небезпек, що виникають при використанні певного медичного виробу.

**Ключові слова:** медичні вироби; вироби медичного призначення; життєвий цикл продукції; значення медичної користі; управління ризиками; управління якістю; контрольовані ризики.

### Вступ

Однією з найбільш інноваційних галузей у світовій промисловості є виробництво медичних виробів (МВ), що включає в себе медичну техніку. Так як її основним призначенням є поліпшення якості і збільшення тривалості людського життя, то вона знаходиться в постійному полі зору регулюючих органів. В Україні державний нагляд за обігом МВ здійснює Державна служба України з лікарських засобів.

Законодавством України у сфері технічних регламентів та оцінки відповідності встановлено, що всі МВ, що знаходяться в обігу на ринку України, повинні проходити процедуру оцінки відповідності та відповідати таким нормативним вимогам: Технічному регламенту щодо медичних виробів, затверженому постановою Кабінету Міністрів України від 02.10.2013 № 753, Технічному регламенту щодо МВ для діагностики *in vitro*, затверженому постановою Кабінету Міністрів України від 02.10.2013 № 754, та Технічному регламенту щодо активних МВ, які імплантують, затверженому постановою Кабінету Міністрів України від 02.10.2013 № 755. Відповідність продукції вимогам технічних регламентів забезпечується шляхом застосування національних стандартів, що діють у цій сфері [1].

В Україні діє міжнародний стандарт [2], який установлює вимоги до системи управління якістю, які можуть застосовуватися підприємством повного циклу виробництва МВ, а саме: для проектування та розроблення, виробництва, зберігання та дистрибуції, монтажу та обслуговування, а також кінцевого демонтажу та утилізації МВ та для проектування, розроблення й надання пов'язаних з ними послуг (наприклад, послуг технічної підтримки). Вимоги цього міжнародного стандарту можуть також застосовувати постачальники або інші зовнішні сторони, що надають свої послуги при виробництві продукції (наприклад, постачання сировини, комплектуючих, вузлів, медичних приладів, надання послуг зі стерилізації, калібрування, послуг дистрибуції, послуг з технічного обслуговування) [2].

Для оцінювання ризиків, у стандарті [2] є посилання на стандарт [3], який вимагає від організації встановити, документувати і підтримувати в робочому стані безперервний процес ідентифікації небезпек (ризиків), пов'язаних з МВ, визначення та оцінювання супутніх ризиків, управління даними ризиками і моніторингу результативності такого управління протягом усього життєвого циклу МВ. Цей процес повинен включати наступні елементи: аналіз ризику; оцінювання ризику та управління ризиком.

Для оцінювання ризиків розроблено міжнародний стандарт [4]. Цей документ надає рекомендації з управління ризиками, з якими стикаються організації. Порядок застосування даних рекомендацій може бути адаптований для будь-якої організації і її контексту. Цей стандарт містить загальний підхід до управління будь-якими ризиками і не є вузькоспеціальним або галузевим. Він може застосовуватися протягом усього життєвого циклу організації і для будь-якої діяльності, включаючи прийняття рішень на всіх рівнях.

Для розв'язання стандарту [4] було розроблено стандарт [5], який подає настанови щодо вибору та застосування систематичних методів загального оцінювання ризику, що сприяє іншим видам діяльності з керування ризиками.

Стандарт [5] має загальний характер, тому він може слугувати настановою для різних типів систем управління. Організації, що розробляють системи управління якістю згідно [2] повинні розробити свої задокументовані методики щодо оцінювання та управління ризиками.

Оцінюванням та принципами кваліметрії зайняли важливу позицію українські науковці [6-10], але на сьогоднішній день не розроблено методики застосування принципів управління ризиками для промислових підприємств, пов'язаних з виробництвом продукції медичного призначення.

**Метою роботи** є створення універсальної методики оцінювання ризиків для розробки та впровадження системи управління якістю при виробництві виробів медичного призначення.

### Основна частина

Для ініціації робіт з управління ризиками наказом Директора на підприємстві створюється робоча і експертна групи з управління ризиками, до складу якої включають провідних фахівців, що мають високу кваліфікацію, досвід в галузі побудови і управління системи менеджменту якості і здатних виконати роботи по розробці системи управління і безперервного контролю ризиків. Робоча група розробляє проект Плану управління ризиками медичних виробів для кожного виду продукції.

Першим етапом при визначенні небезпек пов'язаних з кожним видом МВ є встановлення його властивостей, якісних і кількісних ознак і функцій, які могли б негативно вплинути на безпеку використання даного МВ, далі - чинників безпеки. При цьому повинні бути визначені і вказані встановлені або спостерігаються граничні значення і характеристики для цих факторів МВ. В результаті аналізу цих факторів повинен, бути розроблений перелік відомих і передбачуваних небезпек, пов'язаних з використанням МВ згідно з призначенням. Визначення факторів МВ і пов'язаних з ним потенційних небезпек проводять відповідно до вимог Технічного регламенту щодо медичних виробів.

Для кожної встановленої небезпеки визначають наслідки реалізації небезпеки та причини і механізми виникнення небезпеки, а також проводять заходи щодо запобігання або зниження ризику. Отримані дані заносять до протоколу «Аналіз, оцінка і контроль ризиків», який оформлюється для кожної небезпеки кожного виду МВ. На підставі всебічного розгляду перерахованих вище даних проводять оцінку ризику (розрахунок індексу ризику), який є комбінацією двох компонентів: ступеня тяжкості можливої шкоди ( $S$ ) і ймовірності настання збитку ( $P$ ).

Для оцінки ймовірності настання збитку застосовують постійну 5-ти бальну шкалу описових рівнів ймовірності, яка визначається і характеризується експертами перед проведенням оцінки ймовірностей збитків встановлених небезпек, що виникають при використанні певного МВ. Дана шкала у вигляді таблиці наводиться в Плані управління ризиками для кожного виду МВ. Характеристики кожного рівня ймовірності повинні дозволяти достатньо чітко відносити ймовірність того чи іншого збитку до якого-небудь з 5-ти прийнятих рівнів виходячи з інформації про фактор безпеки, причини, механізми та заходи щодо запобігання (зниження ймовірності). Ранжування рівнів ймовірності є відносним і може не відображати дійсну ймовірність виникнення збитків. Проте, у міру обліку минулого і накопичення нового досвіду, аналізу статистичних даних, кількісний вміст рівнів і оцінка ймовірності збитку повинні поступово уточнятися.

При цьому слід відповісти на наступні питання: Супроводжується наступ безпеки якимись ознаками або вони сигналізують (попереджують) про неї?; Чи настає безпека незалежно від дій виробника, контролера, користувача?; Чи настає безпека в результаті однієї помилки виробника або конт-

ролера або користувача?; Чи настає безпека тільки за умови багаторазової помилки?.

Для оцінки ймовірності небажаної події застосовують такі способи: застосування накопичених значущих даних; передбачення ймовірності з використанням аналітичної техніки і техніки симуляції; оцінку рівня можливості експертами.

Для ряду випадків ймовірність виникнення збитків може бути розрахована строго кількісно на основі накопичених значущих даних. В цьому випадку для зіставлення строго розрахованих значень ймовірності з використовуваними в даній методиці якості 5-ю описовими рівнями ймовірності визначаються діапазони значень ймовірності, які відповідають кожному з 5-ти рівнів. Дана робота здійснюється із залученням експертів (фахівці з великим досвідом в області МВ). При проведенні оцінки ймовірності спочатку проводиться статистична оцінка значущості вихідних даних і строгий розрахунок значень ймовірності (табл. 1).

Таблиця 1 – Шкала напівкількісних рівнів ймовірності настання збитку

Оцінка	Ймовірність настання збитку	Діапазон ймовірності	Визначення
P1	Малоймовірне	$< 5 \times 10^{-7}$	Малоймовірне, але можливе
P2	Дуже низька	$5 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-5}$	Ймовірне виникнення
P3	Низька	$5 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-3}$	Ймовірні поодинокі випадки
P4	Висока	$5 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-1}$	Буде виникати не один раз
P5	Дуже висока	$\geq 5 \times 10^{-1}$	Велика ймовірність виникнення

Для оцінювання ступеня важкості можливої шкоди ( $S$ ) також застосовують систему 5 ранжированих рівнів цього показника, які визначаються і характеризуються експертами перед проведенням оцінки ступеня важкості ймовірних збитків від використання певного МВ. Така система в вигляді таблиці наводиться в Плані управління ризиками для кожного виду МВ. Характеристики кожного рівня ступеня важкості (розроблені експертами) повинні дозволяти достатньо чітко відносити ступінь важкості того чи іншого збитку до якого-небудь з 5-ти прийнятих рівнів виходячи з опису цього збитку. Ступінь важкості ймовірного збитку - це оцінка найбільш серйозного наслідку безпеки (якщо їх більше однієї). Аналіз ступеня важкості та ймовірності шкоди повинен бути зроблений так, щоб полегшити знаходження рішення щодо зниження ризику шляхом зменшення ступеня важкості наслідків безпеки або зниження ймовірності їх виникнення (табл. 2).

Користуючись системою 5-ти рівневих критеріїв (5-ти бальною системою) для оцінки ймовірності збитків і їх ступеня тяжкості розраховують матрицю оцінки ризику, яка має вигляд, як на табл. 3. Ці зони є діапазони значень ризику, відповідні вищевказаним рівням ризиків. Дана матриця заноситься до Плану управління ризиками для кожного виду МВ.

Таблиця 2 – Шкала якісних рівнів ступеня важкості шкоди

Оцінка	Ступень важкості шкоди	Визначення
S1	Дуже низька	Відсутність пошкоджень і погіршення здоров'я, але нанесення незначної моральної або матеріальної шкоди
S2	Низька	Незначні пошкодження без ускладнень і погіршення здоров'я, нанесення значної моральної або матеріальної шкоди
S3	Помірна	Захворювання, серйозне пошкодження, що закінчилося повним одужанням і не спричинило ускладнень
S4	Значна	Захворювання, серйозне пошкодження, що закінчилося ускладненнями і значним погіршенням здоров'я
S5	Критична	Летальний результат, незворотні пошкодження користувача або пацієнта

Таблиця 3 – Матриця оцінки ризику

	S1	S2	S3	S4	S5
P5					
P4					
P3					
P2					
P1					

	- Ризик неприпустимий (РН)
	- Ризик прийнятний на практиці (РПП)
	- Ризик прийнятний (РП)

На підставі висновку по кожному ризику приймається одне з двох варіантів рішень:

1. Оцінений ризик досить малий (значення індексу ризику потрапляє в діапазон рівня прийнятних ризиків), ним можна знехтувати і не слід розробляти заходів по його зниженню.

2. Ризик досить великий і необхідно визначити і здійснити заходи для його контролю.

Якщо на підставі аналізу та оцінки ризиків прийнято рішення про необхідність подальшого зниження рівня ризику для певної небезпеки необхідно вжити заходів для його контролю з метою доведення до рівня прийняттого або прийняттого на практиці низького.

Заходи щодо попередження, зниження або утримування в жорстких межах контрольованих ризиків розробляються фахівцями експертної та робочої груп. Розробка зазначених заходів починається з вивчення можливості зниження рівня ризику за умови прийняття всіх доступних підприємству заходів.

У разі якщо встановлюється, що знизити індекс ризику до рівня прийнятних ризиків неможливо, то розробляються заходи щодо зниження індексу ризику до рівня прийнятних на практиці низьких ризиків. Розроблені заходи заносяться в таблицю документу «Аналіз, оцінка і контроль ризиків».

Після виконання вищевказаних дій проводиться оцінка залишкових ризиків з урахуванням вже вжитих заходів щодо запобігання або зниження ризику.

Отримані дані характеризують рівень залишкових ризиків (S1, P1, (S1xP1)) після вжиття заходів щодо зниження ризиків. На підставі аналізу отриманих результатів приймається одне з двох варіантів рішень:

1. Оцінений залишковий ризик досить малий та ним можна знехтувати і не слід розробляти нових заходів по його зниженню.

2. Ризик досить великий і значення індексу ризику потрапляє в діапазон прийнятних на практиці низьких ризиків. У цьому випадку ризик і медична користь повинні бути зрівняні для визнання допустимості чи не припустимо ризику. Прийняті рішення заносяться в таблицю документа «Аналіз, оцінка і контроль ризиків» даного МВ.

Значення критерію медичної користі від використання даного МВ встановлюється експертами. При цьому повинно забезпечуватися чисельну приведення значення даного критерію до величини, порівнянної з діапазоном значень індексів ризику.

Для кожного залишкового ризику, подальше зниження величини індексу якого неможливо, членами групи управління ризиками проводиться порівняння значення індексу ризику і критерію медичної користі. У разі, якщо значення критерію медичної користі перевищує значення індексу ризику, то приймається рішення про допустимість даного залишкового ризику.

У зворотному випадку такий ризик визнається неприпустимим. Результати порівняння заносяться в таблицю документа «Аналіз, оцінка і контроль ризиків».

В результаті вжиття заходів щодо зниження ризиків на етапі 6 могли виникнути зміни в конструкції МВ, процесі його виробництва, контролю та використання. Ці зміни можуть визначати нові ознаки і функції - нові чинники небезпеки і пов'язані з ними ризики. Для посвідчення в тому що, в процесі прийняття заходів щодо запобігання або зниження ризиків не виникло ніяких нових факторів небезпеки, членами робочої групи управління ризиками проводиться повторний аналіз ризиків.

Після проведення заходів щодо запобігання і зниження ризиків, визначених при організації контролю ризиків, а також проведення оцінки кожного залишкового ризику членами робочої групи з управління ризиками здійснюється загальна оцінка залишкового ризику.

Для визначення критеріїв прийнятності загального залишкового ризику експертами розробляється відповідна шкала для кожного МВ. Максимальне значення шкали отримують підсумовуванням за всіма встановленими небезпекам значень індексів ризику.

Отриману шкалу експерти поділяють на діапазони, відповідні прийнятним ризикам, прийнятним на практиці ризикам і неприйнятним ризикам. Дана шкала заноситься до Плану (для кожного МВ). Чле-



нами робочої групи управління ризиками розраховується сума залишкових ризиків для даного МВ і визначається рівень загального залишкового ризику відповідно до наведеної в Плані шкали.

Вихідні дані і результати оцінки загального залишкового ризику виносяться на нараду з якості, на якій приймається рішення про допустимість загального залишкового ризику для даного МВ.

Результати оцінки загального залишкового ризику і рішення про прийнятність його величини заносяться до «Звіту про управління ризиками».

Оцінка досвіду і переоцінка ризиків здійснюється в разі:

- систематичного перегляду «Плану управління ризиками для кожного МВ»;
- при зміні національної або міжнародної нормативної бази в сфері ризиків і безпеки IVD;
- отриманні незадовільних результатів моніторингу процесу управління ризиками для даного МВ;
- виникненні небезпечних ситуацій або збитку у споживачів при використанні продукції підприємства.

При цьому членами робочої групи з управління ризиками проводиться вивчення і аналіз змін в конструкції МВ, технології його виробництва і контролю, способів застосування.

Однією з умов дієвості та результативності управління ризиками на підприємстві є налагодження та підтримка належної системи реалізації, контролю та оцінки цього процесу.

Функція організації процесу управління ризиками, забезпечення його необхідними ресурсами, в тому числі кваліфікованим персоналом, систематичного контролю і оцінки діяльності з управління ризиками знаходиться в сфері відповідальності вищого керівництва. Процес управління ризиками інтегрований в загальну систему взаємодіючих процесів СУЯ підприємства, в зв'язку з чим його реалізація, оцінка та контроль ефективності здійснюється на наступних рівнях функціонування системи менеджменту якості:

1. Збір, аналіз і статистична обробка даних по небезпечних ситуаціях, оцінки ризиків та їх допустимість. Оперативне управління отриманої інформації здійснюється на всіх стадіях життєвого циклу кожного виду МВ - розробки і проектування, виробництва, приймальних випробувань, доставки, використання і утилізації у споживача. Збір і первинний аналіз даних на кожній стадії життєвого циклу продукції організовує та контролює профільний керівник цієї стадії циклу. Інформація в письмовому вигляді передається представнику керівництва з якості - керівнику робочої групи з управління ризиками, який організовує детальний аналіз отриманої інформації, розробку коригувальних заходів щодо їх зниження та інші дії з управління ризиками. До цієї роботи крім робочої групи залучаються керівники та фахівці експертної групи. Розроблені пропозиції на проведення коригувальних дій, включаючи необхідні ресурси, передаються на розгляд і аналіз на нарада з якості, де приймається остаточне рішення про їх проведення.

2. Моніторинг та вимірювання процесу. Моніторинг процесу управління ризиками здійснюють працівники групи моніторингу та аудиту. Моніторинг процесу повинен проводитися не рідше 1 разу на рік. До проведення моніторингу повинні залучатися провідні фахівці робочої та експертної груп. Результати моніторингу документуються і передаються представнику керівництва з якості, який представляє їх на нараді з якості для детального аналізу і прийняття рішень (див. Аналіз з боку вищого керівництва).

3. Аналіз з боку вищого керівництва. Результати збору, аналізу та статистичної обробки даних щодо ризиків, моніторингу та вимірювання цього процесу передаються представнику керівництва з якості, який організовує детальний аналіз отриманої інформації, розробку пропозицій на проведення запобіжних та коригувальних дій щодо зниження ризиків і запобігання небезпечних ситуацій. До виконання цих робіт залучаються фахівці робочої та експертної груп.

Результати аналізу та пропозиції представник керівництва з якості представляє на нарада з якості для всебічного вивчення, оцінки та прийняття рішень, які затверджуються директором.

4. Управління ресурсами. При прийнятті нових рішень з управління ризиками вище керівництво повинно чітко визначити і виділити ресурси, необхідні для ефективного виконання запланованих дій.

У тому числі визначається компетентний персонал, розподіляється відповідальність і повноваження, необхідна інфраструктура і засоби на закупівлі.

5. Процеси життєвого циклу продукції.

Реалізація прийнятих рішень з управління ризиками здійснюється на етапі життєвого циклу продукції, якого стосується дане рішення. Однак важливо, щоб діяльність з управління ризиками охоплювала всі етапи життєвого циклу продукції:

- розробки і проектування;
- виробництва;
- контролю;
- використання й сервісного обслуговування у споживача.

В процесі реалізації прийнятих коригувальних дій знову повинен бути здійснений процес збору, аналізу та статистичної обробки даних і всі наступні етапи циклу СУЯ. Алгоритм оцінювання та управління ризиками при виготовленні МВ показано на рис. 1.

## Висновки

Запропоновані методичні рекомендації щодо створення методики управління ризиками при розробленні, підтриманні та управлінні системою управління якістю, відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 13485:2016 «Вироби медичні. Системи управління якістю. Вимоги щодо регулювання».

У статті розглянуті етапи та алгоритм створення методики оцінювання та управління ризиками, яка необхідна для створення системи управління



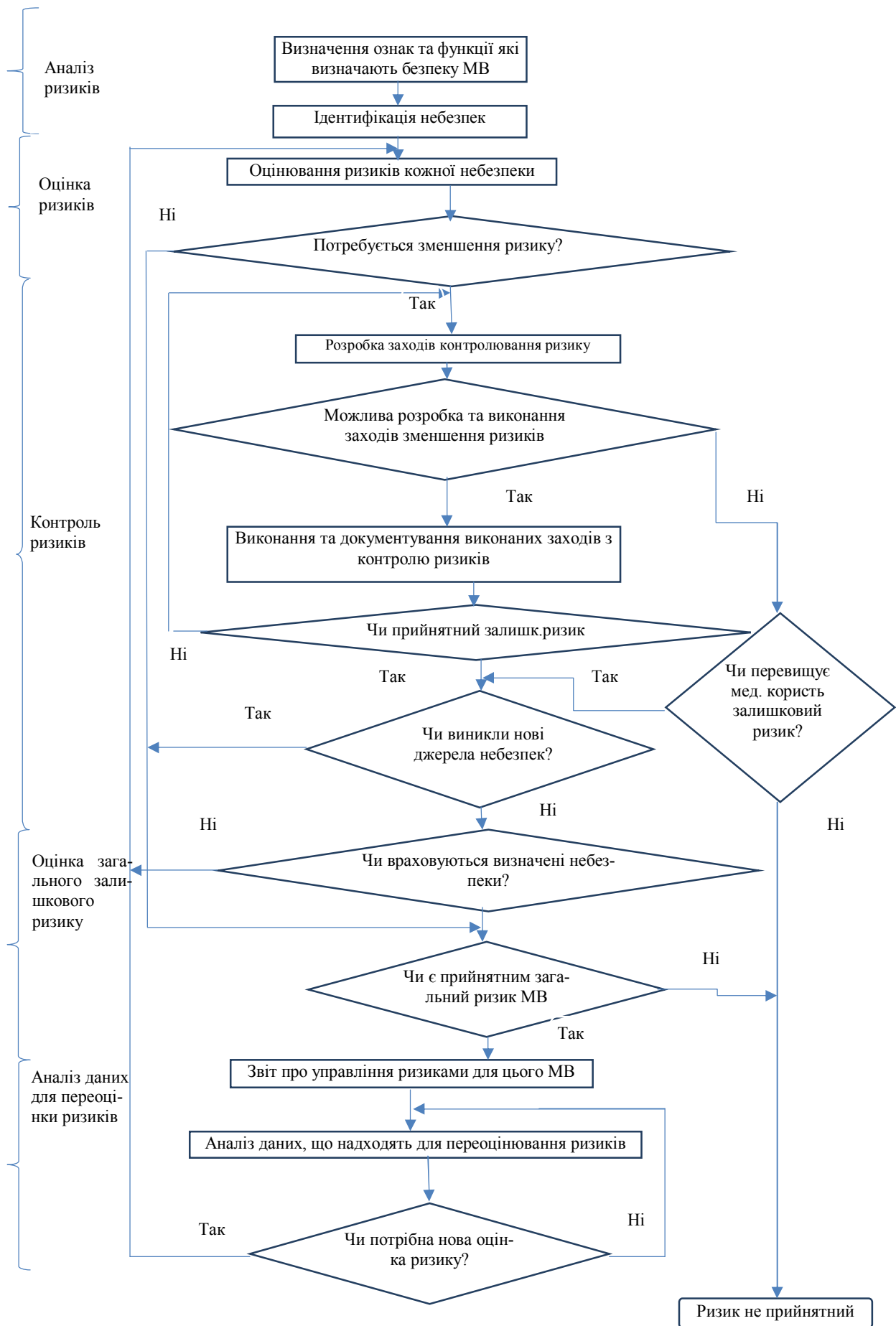


Рис. 1. Алгоритм оцінювання та управління ризиками при виготовленні МВ

якістю при виробництві виробів медичного призначення.

Для оцінювання ймовірності настання збитку застосовують постійну 5-ти бальну шкалу описових

рівнів ймовірності, яка визначається і характеризується експертами перед проведенням оцінки ймовірностей збитків встановлених небезпек, що виникають при використанні певного медичного виробу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Співак Н. Огляд актуальних питань ринку медичних виробів [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://eba.com.ua/article/review-current-issues-medical-products-market>.
2. ДСТУ EN ISO 13485:2015 Медичні вироби. Система управління якістю. Вимоги до регулювання (EN ISO 13485:2012, IDT; ISO 13485:2003, IDT) [Чинний від 2016-01-01]. Київ, 2015. 87 с.
3. ДСТУ EN ISO 14971:2015 Вироби медичні. Настанови щодо управління ризиком. [Чинний від 2016-01-01]. Київ, 2015. 104 с.
4. ДСТУ ISO 31000:2018 Менеджмент ризиків. Принципи та настанови. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
5. ДСТУ ІЕС/ISO 31010:2013 Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. [Чинний від 2014-07-01]. Київ, 2015. 80 с.
6. Трищ Р. М. Обобщённая точечная и интервальная оценки качества изготовления детали ДВС / Р. М. Трищ, Е. А. Слитюк. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – №1/2 (19). – С. 63–67.
7. Арпентьев Б. М. Особенности систем управления качеством механозбирального производства / Б. М. Арпентьев, Р. М. Трищ. // Стандартизация. Сертификация. Якість. – 2005. – №1. – С. 68 – 72.
8. Трищ Р. М. Оценка модели точности изготовления деталей на адекватность // Вісник НТУ „ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2005. – № 57 – С. 61-65.
9. Трищ Р. М. Определение закона распределения точности механической обработки // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2005. – № 5/2 (17) – С. 46-48.
10. Трищ Р. М. Применение чувствительных характеристик для определения модели точности изготовления деталей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2005. – № 6/2 (18) – С. 11-13.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г. І. Канюк,  
Українська інженерно-педагогічна академія, Харків  
Received (Надійшла) 15.04.2019  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

#### Методика управління ризиками для системи управління якістю при виготовленні изделий медичного призначення

А. Н. Денисенко, А. С. Гринченко, В. М. Бурдейная, Ю. С. Лис

**Целью статьи** является методические рекомендации по созданию методики управления рисками при разработке, поддержке и управлении системой управления качеством в соответствии с требованиями международного стандарта ISO 13485:2016 «Изделия медицинские. Системы управления качеством. Требования по регулированию». **Результаты.** В статье рассмотрены этапы и алгоритм создания методики оценки и управления рисками, которая необходима для создания системы управления качеством при производстве изделий медицинского назначения. Для оценки вероятности наступления ущерба применяют постоянную 5-ти бальную шкалу описательных уровней вероятности, которая определяется и характеризуется экспертами перед проведением оценки вероятностей убытков установленных опасностей, возникающих при использовании определенного медицинского изделия. Выводы.

**Ключевые слова:** медицинские изделия; изделия медицинского назначения; жизненный цикл продукции; значение медицинской пользы; управление рисками; управление качеством; контролируемые риски.

#### Method of risk management for the quality management system in the manufacture of medical devices

A. Denysenko, H. Hrinchenko, V. Burdeina, Y. Lys

**The purpose of the article** is to develop guidelines for creating a risk management methodology in the development, support and management of a quality management system in accordance with the requirements of the international standard ISO 13485: 2016 “Medical devices. Quality management systems. Requirements for regulation. Analyzed the legislation of Ukraine in the field of technical regulations and conformity assessment of medical devices. Analyzed international standards for assessing the risks associated with the production of medical devices. It is determined that the methods of application of risk management principles for industrial enterprises related to the production of medical products have not been developed. The article describes the steps and algorithm for creating a methodology for assessing and managing risks, which is necessary to create a quality management system in the manufacture of medical products. To assess the likelihood of damage, a constant five-point scale of descriptive levels of probability is used, which is determined and characterized by experts before assessing the likelihood of loss of identified hazards arising from the use of a particular medical device.

**Keywords:** medical devices; medical products; product life cycle; medical value; risk management; quality control; controlled risks.

В. Д. Карлов<sup>1</sup>, О. Л. Кузнєцов<sup>1</sup>, А. М. Артеменко<sup>2</sup>, А. Д. Карлов<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ, Україна

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО ВИМІРЮВАННЯ ДАЛЬНОСТІ ДО ЦІЛІ В КОГЕРЕНТНО-ІМПУЛЬСНІЙ РЛС ПРИ ВРАХУВАННІ ФАЗОВИХ СПОТВОРЕНЬ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО СИГНАЛУ

У статті розглянуто питання аналізу можливостей забезпечення заданої дальності дії РЛС, здатної здійснювати радіолокаційне спостереження малопомітних, малорозмірних та маневруючих цілей. Обґрунтована доцільність використання когерентної пачки радіоімпульсів для забезпечення необхідної дальності виявлення із заданими показниками якості. Надано порівняльний аналіз можливостей використання поодинокого і пачкового радіосигналу. Доведена необхідність врахування корельованих фазових флуктуацій радіоімпульсів прийнятої пачки при вимірюванні дальності до цілі. Вважається, що фазові флуктуації розподілені за нормальним законом з нульовим середнім, а їх кореляція убиває зі збільшенням інтервалу між радіоімпульсами пачки за експоненціальним або знакозмінним законами. На вхід приймального пристрою РЛС надходять відбиті від цілей сигнали на фоні некорельованого гаусівського шуму. Розгляд проводиться для моделі сигналу з випадковою амплітудою та початковою фазою. Оцінювання часу запізнення радіолокаційного сигналу здійснюється за критерієм максимуму натурального логарифма відношення правдоподібності, усередненого по усім можливим значенням випадкових неінформативних параметрів. В явному вигляді отримано вираз нормованої функції розузгодження когерентної пачки за наявністю фазових флуктуацій її радіоімпульсів. Врахування фазових флуктуацій радіоімпульсів прийнятої пачки при вимірюванні дальності до цілі дозволить покращити ефективність вирішення когерентно-імпульсними РЛС завдань за призначенням.

**Ключові слова:** радіолокаційне спостереження, когерентна пачка радіоімпульсів, фазові флуктуації, дальність до цілі, час запізнення, статистичні характеристики, достатня статистика, відношення правдоподібності, гаусівський шум.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Зростання маневрених можливостей сучасних аеродинамічних об'єктів обумовлює підвищення вимог до когерентно-імпульсних РЛС щодо забезпечення максимальної дальності дії та необхідних точностей вимірювання координат і параметрів їх руху [1–4].

Високоточне вимірювання дальності до цілі є необхідною умовою забезпечення її радіолокаційного спостереження та стійкого супроводження. Точність вимірювання дальності до цілі в основному визначається шириною спектра зондувального сигналу РЛС, і як слід, обумовлена вибором його параметрів та закону модуляції [2, 5, 6].

Забезпечення необхідної дальності радіолокаційного спостереження малопомітних, малорозмірних та маневруючих цілей пов'язано з отриманням якомога більшого відношення сигнал-шум на виході пристрою узгодженої обробки прийнятого сигналу. Вказане обумовлює використання когерентної пачки радіоімпульсів в якості зондувального сигналу РЛС.

Однак, умови поширення й відбиття радіолокаційного сигналу призводять до викривлення його структури та погіршення бойових можливостей РЛС. Такими умовами можна вважати: флуктуації коефіцієнта заломлення тропосфери внаслідок змін температури, тиску та вологості; інтерференцію сигналів відбитих від цілі та земної (морської) поверхні; шуми дальності внаслідок складної форми цілі [5–9].

Фазові спотворення сигналів призводять до викривлення його форми і положення максимуму (піка) тіла невизначеності у часі (результату його узгодженої часо-частотної обробки). У свою чергу, це

обумовлює появу флуктуаційних помилок вимірювання дальності.

Вказане свідчить про необхідність пошуку шляхів забезпечення максимального значення відношення сигнал-шум на виході пристрою узгодженої обробки радіолокаційного сигналу та врахування його фазових викривлень при вимірюванні дальності до цілі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При радіолокаційному спостереженні малорозмірних та маловисотних цілей, використання особливостей поширення радіохвиль у тропосферному радіохвильоводі дозволяє суттєво збільшити дальність дії РЛС.

Так, з урахуванням методики, викладеної у [10], результати, які наведені в роботі [11–13], вказують на те, що дальність виявлення вертольоту за межами прямої видимості в умовах його локації над морем може бути збільшена в 7...10 разів. Однак, при цьому виникають флуктуації фази прийнятого радіосигналу. Тому, актуальною задачею є пошук шляхів оптимізації вимірювання дальності до цілі з урахуванням статистичних властивостей параметрів радіолокаційних сигналів.

В [14–20] показана можливість врахування фазових флуктуацій сигналів відбитих від маловисотної цілі в тропосферному хвильоводі при вимірюванні дальності до цілі. Отримано загальні вирази для оцінювання часу запізнювання та відповідної середньоквадратичної помилки, однак, без конкретизації вигляду кореляційної функції фазових флуктуацій.

Застосування наведеної методики стосовно оцінюючої кореляційної функції фазових флуктуацій з синтезом оптимального вимірювача часу запізнювання показано в [12, 21]. Відмічено, що при лока-

ції маловисотних цілей за межами дальності прямої видимості, підвищення точності вимірювання дальності в межах тропосферного радіохвилеводу за рахунок врахування флуктуацій фазової структури сигналу в порівнянні з локацією в межах дальності прямої видимості складає 3...4 рази, що свідчить про ефективність вказаної оптимізації.

Аналогічні результати відносно експонентної кореляційної функції фазових флуктуацій наведені в роботі [3, 13]. При цьому, врахування даних флуктуацій здатне забезпечити підвищення точності вимірювання дальності у 2...2,5 рази.

В розглянутих роботах, в якості вхідного сигналу розглядалася реалізація набігу фази частотних складових безперервного радіолокаційного сигналу.

В дійсний час, для видачі бойової інформації засобам враження та їх наведення на цілі використовуються когерентно-імпульсні РЛС, які для радіолокаційного спостереження використовують пачкові радіосигнали.

Вказане свідчить про необхідність проведення подальших досліджень, які спрямовані на врахування статистичних характеристик флуктуацій радіоімпульсів пачкового радіосигналу в когерентно-імпульсних РЛС при вимірюванні координат і параметрів руху цілей як в межах дальності прямої видимості РЛС, так й поза цими межами.

**Метою статті** є розробка методологічних основ оптимального оцінювання дальності до цілі в когерентно-імпульсній РЛС в умовах наявності корельованих флуктуацій початкових фаз прийнятих радіоімпульсів.

### Основний матеріал

Розглядається задача оптимізації вимірювання дальності до цілі в РЛС з імпульсним випромінюванням радіолокаційного сигналу. Оцінювання дальності до цілі здійснюється згідно з виразом

$$r = t_3 \cdot c/2, \quad (1)$$

де  $t_3$  - час запізнення прийнятого сигналу відносно зондувального;  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с – швидкість поширення радіохвиль у вільному просторі.

Тобто, дальність до цілі визначається за часом запізнення, який оцінюється як аргумент максимуму відношення правдоподібності  $\ell(t_3)$  або його натурального логарифму [2, 3, 5]

$$\hat{t}_3 = \arg \max \ln \ell(t_3). \quad (2)$$

При прийомі когерентного сигналу з випадковою рівномірно розподіленою початковою фазою і випадковою, розподіленою за законом Релея, амплітудою на фоні некорельованого шуму, відношення правдоподібності відповідно до [2] має вид

$$\ell = \frac{1}{1+q^2/2} \exp \frac{q^4/4}{1+q^2/2} \rho^2, \quad (3)$$

де  $q^2$  - відношення сигнал-шум по потужності;  $\rho$  - нормована функція розузгодження (ФР) спостережуваного і очікуваного радіосигналів.

В умовах регулярного вимірювання (відношення сигнал-шум по потужності  $q^2 \gg 1$ ) відношення правдоподібності (3) визначається виразом:

$$\ell \approx 2/q^2 \cdot \exp(q^2 \rho^2/2). \quad (4)$$

Нормовану часочастотну ФР можна подати у вигляді [2, 5]

$$\rho(\tau, F) = \frac{1}{2E} \left| \int_{-\infty}^{\infty} \dot{U}(s) \dot{U}^*(s-\tau) e^{j2\pi F s} ds \right|, \quad (5)$$

де  $E$  - енергія прийнятого сигналу;  $\tau = t_3 - t_{3,c}$  - розузгодження за часом запізнення очікуваного  $t_3$  та спостережуваного  $t_{3,c}$  сигналів;  $F = F_0 - F_{0,c}$  - розузгодження за доплерівською частотою очікуваного  $F_0$  та спостережуваного  $F_{0,c}$  сигналів;  $s = t - t_{3,c}$  - параметр інтегрування.

Для поодинокого прямокутного радіоімпульсу без внутрішньоімпульсної модуляції тривалістю  $\tau_i$  вираз (5) має такий вид [2, 3]

$$\rho(\tau, F) = \begin{cases} \left| \sin(\pi F(\tau_i - |\tau|)) / (\pi F \tau_i) \right|, & |\tau| \leq \tau_i/2; \\ 0, & |\tau| > \tau_i/2. \end{cases} \quad (6)$$

Вертикальний переріз даної часочастотної ФР площиною  $F = 0$  описується виразом

$$\rho(\tau) = \begin{cases} 1 - |\tau|/\tau_i, & |\tau| \leq \tau_i/2; \\ 0, & |\tau| > \tau_i/2 \end{cases} \quad (7)$$

і є результатом узгодженої фільтрації поодинокого радіоімпульсу.

З наведених виразів функцій розузгодження випливає, що при використанні поодинокого радіоімпульсу, його флуктуації фази не призводять до флуктуації отриманого результату узгодженої фільтрації. Однак, використання даного сигналу має суттєві обмеження величини відношення сигнал-шум, необхідного для якісного виявлення малопомітних та малорозмірних цілей. Забезпечення стійкості радіолокаційного спостереження складних маневруючих цілей безпосередньо пов'язане з максимізацією відношення сигнал-шум, яке визначає необхідну дальності дії РЛС, якість радіолокаційного виявлення та точність вимірювання їхніх координат. Це досягається когерентним накопиченням пачки прийнятих радіоімпульсів. Однією з основних тактичних характеристик РЛС є максимальна дальність виявлення, яка визначається виразом виду [2, 5]

$$r_0 = \sqrt[4]{E_{3,c} G \sigma_{цсеп} A_{эф} / ((4\pi)^2 E_{np\min}(D, F))}, \quad (8)$$

де  $E_{3,c}$  - енергія зондувального сигналу;  $G$  - коефіцієнт підсилення передавальної антени;  $\sigma_{цсеп}$  - середня ефективна площа розсіювання цілі;  $A_{эф}$  - ефективна площа приймальної антени;  $E_{np\min}$  - мінімальна енергія прийнятого сигналу, яка необхідна для вирішення задачі радіолокаційного спо-

стерезення;  $D$  – умовна ймовірність правильного виявлення;  $F$  – умовна ймовірність хибної тривоги.

При виявленні сигналу на фоні білого шуму зі спектральною густиною потужності  $N_0$  значення  $E_{np_{min}}(D, F)$  визначають виразом:

$$E_{np_{min}}(D, F) = q^2 N_0 / 2 = K_p(D, F) N_0, \quad (9)$$

де  $K_p(D, F) = q^2 / 2$  – коефіцієнт розрізнення.

Використання в якості зондувального сигналу РЛС пачки радіоімпульсів обумовлює необхідність коригування величини  $E_{np_{min}}(D, F)$  через зміну коефіцієнта розрізнення  $K_p(D, F)$ .

Коефіцієнт розрізнення  $K_p(D, F)$  визначається для обраної статистичної моделі сигналу по заданих значеннях показників якості виявлення – умовної ймовірності правильного виявлення  $D$  та умовної ймовірності хибної тривоги  $F$ .

Для моделі сигналу з випадковими амплітудою і початковою фазою умовна ймовірність правильного виявлення описується виразом [2]

$$D = F^{1/(1+q^2/2)} \quad (10)$$

і залежить тільки від відношення сигнал-шум (параметра виявлення).

На рис. 1 наведені графіки залежності умовної ймовірності правильного виявлення від відношення сигнал-шум, які отримані згідно виразу (10) для наступних значень умовної ймовірності хибної тривоги:  $F = 10^{-4}$  (крива 1),  $F = 10^{-6}$  (крива 2),  $F = 10^{-8}$  (крива 3),  $F = 10^{-10}$  (крива 4). Дані значення характеризують якість радіолокаційного виявлення РЛС різного призначення, як оглядових РЛС, так й РЛС супроводження.

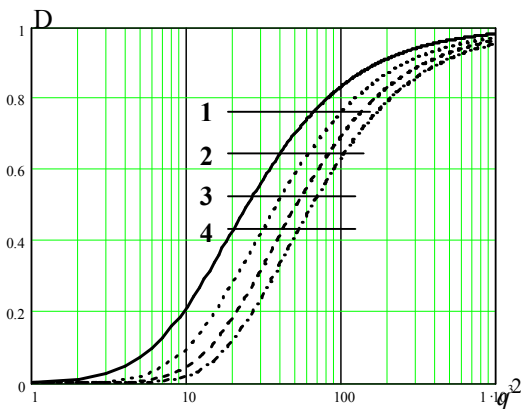


Рис. 1. Залежність умовної ймовірності правильного виявлення від відношення сигнал-шум

З наведених графіків видно, що для забезпечення стійкого радіолокаційного спостереження, значення відношення сигнал-шум по потужності повинні досягати декілька сотень, що може бути досягнуто когерентним накопиченням послідовності прийнятих радіоімпульсів. Таким чином, для підвищення умовної ймовірності правильного виявлення необхідно збільшувати відношення сигнал-шум, що

може бути забезпечено використанням когерентної пачки з якомога більшою кількістю радіоімпульсів.

При обробці когерентної пачки з  $n$  радіоімпульсів необхідний коефіцієнт розрізнення  $K_{p1}(D, F)$  одного імпульсу в пачці визначається виразом

$$K_{p1}(D, F), [\text{дБ}] = K_p(D, F), [\text{дБ}] - 10 \lg n, \quad (11)$$

Таким чином, когерентна обробка пачки  $n$  радіоімпульсів дозволяє зменшити коефіцієнт розрізнення одного радіоімпульсу згідно (11) з метою забезпечення заданої умовної ймовірності правильного виявлення при фіксованому значенні умовної ймовірності хибної тривоги. Виграш  $V$  в дальності виявлення цілі  $r_n$  при використанні когерентної пачки з  $n$  радіоімпульсів у порівнянні з дальністю виявлення при використанні поодинокого радіоімпульсу  $r_0$  з урахуванням (7-11) визначається як

$$V = \frac{r_n}{r_0} = \sqrt[4]{\frac{EG\sigma_{цсеп} A_{эф}}{(4\pi)^2 K_{p1} N_0}} / \sqrt[4]{\frac{EG\sigma_{цсеп} A_{эф}}{(4\pi)^2 K_p N_0}} = \sqrt[4]{\frac{K_p}{K_{p1}}}$$

На рис. 2 наведена залежність даного виграшу від кількості радіоімпульсів при їх когерентному накопичуванні.

Отримана залежність має зростаючий характер, що свідчить про можливість збільшення дальності дії РЛС в одиниці-десятки разів при когерентному накопиченні одиниць-десятиків радіоімпульсів відповідно. При цьому, когерентне накопичення прийнятих радіоімпульсів дозволяє суттєво збільшити умовну ймовірність правильного виявлення та покращити якість радіолокаційного спостереження.

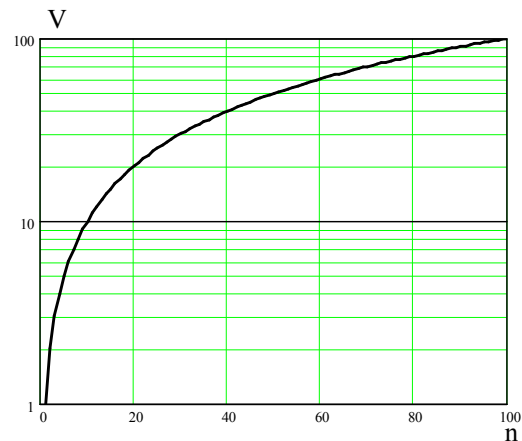


Рис. 2. Підвищення дальності виявлення цілі при когерентному накопиченні радіоімпульсів

На рис. 3 надані графіки залежності умовної ймовірності правильного виявлення від кількості радіоімпульсів, що накопичуються когерентно в процесі обробки прийнятого сигналу. Результати отримані при  $q^2 = 100$  для випадків, аналогічних графікам на рис. 1:  $F = 10^{-4}$  (крива 1),  $F = 10^{-6}$  (крива 2),  $F = 10^{-8}$  (крива 3),  $F = 10^{-10}$  (крива 4).

Отримані залежності свідчать про те, що когерентне накопичення радіоімпульсів прийнятої пачки здатне значно підвищити якість радіолокаційного виявлення. При цьому, найбільший ефект спостерігається при переході від обробки одного радіоімпульсу до когерентної обробці 10 радіоімпульсів.

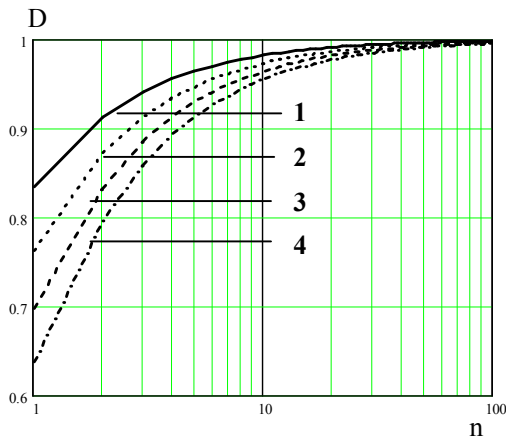


Рис. 3. Залежність умовної ймовірності правильного виявлення від кількості радіоімпульсів

Підвищення умовної ймовірності правильного виявлення  $D$  в залежності від умовної ймовірності хибної тривоги  $F = 10^{-4} \dots 10^{-10}$  складає 15...30%. Перехід від когерентного накопичення 10 радіоімпульсів до когерентного накопичення 100 радіоімпульсів викликає збільшення  $D$  лише на 1,6...4%.

Вказане свідчить про те, що при рішенні задачі якісного радіолокаційного спостереження необхідно забезпечити синфазне складання 10...20 прийнятих радіоімпульсів.

За час радіолокаційного спостереження цілі когерентно може бути оброблена лише частина із загальної кількості прийнятих радіоімпульсів внаслідок впливу реальних умов їх поширення і відбиття. Даними умовами можна вважати вплив середовища поширення радіохвиль, їх відбиття від атмосферних неоднорідностей та елементів земної (водної) поверхні, а також наявності шуму дальності при радіолокаційному контакті з ціллю [5, 7].

У тропосфері постійно виникають складні турбулентні процеси. Флуктуації тиску, температури та вологості в неоднорідностях тропосфери призводять до флуктуацій її показника заломлення. Внаслідок флуктуацій показника заломлення, обумовлених впливом атмосфери, виникають флуктуації фаз прийнятих радіоімпульсів, які можуть трактуватися як мультиплікативна завада. В роботі [5] показано, що тропосферні неоднорідності здійснюють суттєвий вплив на викривлення фазової структури хвиль сантиметрового діапазону. Якщо в області, суттєвою для поширення, міститься велика кількість статистично незалежних неоднорідностей, то в силу центральної граничної теореми, флуктуації фази розподілені за нормальним законом. В [5] надані величини дисперсії фазових флуктуацій радіосигналу, який пройшов тропосферу.

В тропосфері з середнім розміром турбулентних неоднорідностей  $L_0 \approx 100$  м дисперсія флуктуацій фази радіосигналу може досягати одиниць рад<sup>2</sup> для хвиль сантиметрового діапазону. При цьому, радіус кореляції фазових флуктуацій, за умовою, що вся траса поширення радіосигналу знаходиться у випадково неоднорідному середовищі, може складати сотні метрів. Згідно експериментальним і теоретичним даним в утворення фазових флуктуацій радіосигналів

найбільший внесок здійснюють турбулентності тропосфери із зовнішнім масштабом від сотень метрів до одиниць кілометрів. При багатотрасовому поширенні радіохвиль частина потужності відбивається від земний або морський поверхні. Крім того радіосигнал при поширенні може відбиватися від різних метеопотворень. Перевідбиття радіосигналу поверхнею розділу середовищ призводить до виникнення флуктуацій фази прийнятого радіосигналу [3, 4, 6]. Оскільки перевідбитий радіосигнал є сукупністю сигналів від усіх таких ділянок траси, то його фазові зсуви носитимуть випадковий характер.

Реальна ціль не є точковим відбивачем і, як правило, має протяжність, що значно перевищує довжину хвилі РЛС [9, 11, 13]. Під час руху такої цілі відбуваються випадкові зміни положення її блискучих точок. Інтерференція відбитих від них радіосигналів викликає зміни амплітуди і фази результуючого прийнятого радіосигналу. Рух цілі, який включає ризикання, тангаж і крен викликає шум дальності, тобто, випадкові зміни дальності різних елементів цілі відносно РЛС. Це призводить до флуктуацій радіосигналу як по фазі, так і по амплітуді, викликаючи блукання фазового центру цілі.

При відбитті сигналу від цілі з складною конфігурацією та його багатотрасовому поширенні дисперсія флуктуацій фази може досягати одиниць рад<sup>2</sup>. Основна енергія флуктуацій відбитого радіосигналу зосереджена в низькочастотній області спектру – в смузі декілька Гц. При використанні пачки в даних умовах виникає суттєва втрата її когерентності за рахунок фазових флуктуацій її радіоімпульсів. Таким чином, при локації реальних цілей, особливо маловисотних та малорозмірних, вимірювання їх дальності з високою точністю можливе з максимальним врахуванням флуктуацій фаз прийнятих радіоімпульсів [9, 11, 13]. Розглядається пачка, яка має  $n$  радіоімпульсів з випадковою амплітудою та початковою фазою. До фаз радіоімпульсів пачки додаються флуктуаційні складові  $\phi_i$ , які обумовлені наведеними вище умовами його поширення та відбиття.

Нормовану ФР когерентної пачки радіоімпульсів, яка входить у склад відношення правдоподібності (4), можна описати співвідношенням [2, 5]

$$\rho(\tau, F) = \left| \sum_{i=-M+1}^{M-1} \frac{\sin(\pi FT(M-|i|))}{M \sin \pi FT} \dot{\rho}(\tau+i \cdot T, F) e^{-j\pi i FT} \right|,$$

де  $\dot{\rho}(\tau+i \cdot T, F)$  – комплексна ФР поодинокого прямокутного радіоімпульсу;  $T$  - період слідування радіоімпульсів пачки. Переріз даної ФР площиною  $F=0$  описується виразом

$$\rho(\tau) = \frac{1}{n} \left| \sum_{i=0}^{n-1} \dot{\rho}_i(\tau+i \cdot T) \right|. \quad (12)$$

В даному виразі комплексна ФР поодинокого прямокутного радіоімпульсу за наявності флуктуацій його фази має вигляд

$$\dot{\rho}(\tau+i \cdot T) = (1-|\tau+i \cdot T|/\tau_i) e^{j[\Phi_i+\phi_i+\Omega_0(\tau+i \cdot T)]}, \quad (13)$$



де  $\Phi_i$  - фаза  $i$ -го радіоімпульсу пачки;  $\varphi_i$  - флуктуаційна складова фази  $i$ -го радіоімпульсу пачки;  $\Omega_0 = 2\pi f_0$ ;  $f_0$  - несуча частота. Квадрат даної нормованої ФР можна представити у вигляді

$$\rho^2(\tau) = \frac{1}{n^2} \left| \sum_{i=0}^{n-1} \zeta_i \exp[j \cdot x(\tau)] \right|^2, \quad (14)$$

де  $\zeta_i = \left(1 - \frac{|\tau + i \cdot T|}{\tau_i}\right)$ ;  $x(\tau) = \Phi_i + \varphi_i + \Omega_0(\tau + i \cdot T)$ .

Знаходження модулю комплексного числа та узяття його квадрату дозволяє привести (14) до виду

$$\rho^2(\tau) = \frac{1}{n^2} \left[ \sum_{i=0}^{n-1} \zeta_i \cos x_i(\tau) \right]^2 + \left[ \sum_{i=0}^{n-1} \zeta_i \sin x_i(\tau) \right]^2. \quad (15)$$

Враховуючи властивість квадрата суми  $(\sum_{i=1}^n x_i)^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j$ , (15) можна представити як

$$\rho^2(\Omega) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \zeta_i \zeta_j [\cos x_i(\tau) \cos x_j(\tau) + \sin x_i(\tau) \sin x_j(\tau)] = \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \zeta_i \zeta_j \cos[x_i(\tau) - x_j(\tau)]. \quad (16)$$

При малому розузгодженні спостережуваних та очікуваних значень початкових фаз радіоімпульсів пачки у даному виразі знаходиться косинус малого аргументу, для якого можна застосувати властивість  $\cos x \approx 1 - x^2/2$ , з урахуванням із (16):

$$\rho^2(\tau) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} \zeta_i \zeta_j \cdot M_{ij}. \quad (17)$$

де  $M_{ij} = 1 - \frac{1}{2} [(\Phi_i + \varphi_i - \Phi_j - \varphi_j) + \Omega_0 T(i - j)]^2$ . (18)

Вираз (17) дозволяє отримати відношення правдоподібності (4) за наявності фазових флуктуацій радіоімпульсів прийнятої пачки. Наявність даних складових  $\varphi_i$  викликає необхідність переходу до усередненого відношення правдоподібності [23]

$$\bar{\ell} = \int_{\bar{\varphi}} \ell(\bar{\varphi}) p(\bar{\varphi}) d\bar{\varphi}, \quad (19)$$

де  $\ell(\bar{\varphi})$  - відношення правдоподібності (4) з урахуванням (17) для пачки за наявності фазових флуктуацій її радіоімпульсів;  $\bar{\varphi} = \|\varphi_i\|$  - вектор-стовпець значень флуктуаційних складових початкових фаз радіоімпульсів пачки;  $p(\bar{\varphi})$  - щільність ймовірності вектора-стовпця  $\bar{\varphi}$ ;  $d\bar{\varphi} = (d\varphi_1 d\varphi_2 \dots d\varphi_n)^T$ .

Час запізнення оцінюється як аргумент максимуму натурального логарифму усередненого відношення правдоподібності (19), як функції  $t_3$

$$\hat{t}_3 = \arg \max \ln \bar{\ell}(t_3). \quad (20)$$

Наявність у виразі (18) випадкових складових різниць фаз радіоімпульсів пачки свідчить про не-

обхідність переходу до усередненого відношення правдоподібності виду

$$\bar{\ell} = \int_{(\Delta\bar{\varphi})} \ell(\Delta\bar{\varphi}) p(\Delta\bar{\varphi}) d\Delta\bar{\varphi}, \quad (21)$$

де  $\bar{\varphi} = \|\Delta\varphi_k\|$  - вектор-стовпець значень випадкових складових різниць фаз радіоімпульсів пачки;  $p(\Delta\bar{\varphi})$  - закон розподілу їх щільності ймовірності;  $d\Delta\bar{\varphi} = d\Delta\varphi_1 d\Delta\varphi_2 \dots d\Delta\varphi_m$ ,  $\Delta\varphi$  - різниця флуктуаційних складових фаз прийнятих радіоімпульсів

Вважається, що фазові флуктуації радіоімпульсів прийнятої пачки розподілені за нормальним законом с нульовим середнім, а кореляційна матриця фазових флуктуацій має наступний вид

$$K_\varphi = \left\| \sigma_\varphi^2 a^{|i-j|} \right\|, \quad i, j \in 1, 2, \dots, n, \quad (22)$$

де  $\sigma_\varphi^2$  - дисперсія фазових флуктуацій;  $a$  - коефіцієнт кореляції фазових флуктуацій сусідніх радіоімпульсів пачки;  $i, j$  - номери радіоімпульсів пачки.

На рис. 4 показано, що при позитивних значеннях  $a$ , зі збільшенням інтервалу між радіоімпульсами пачки кореляція убуває за експонентним законом, а при негативних значеннях  $a$  - за знакозмінним законом.

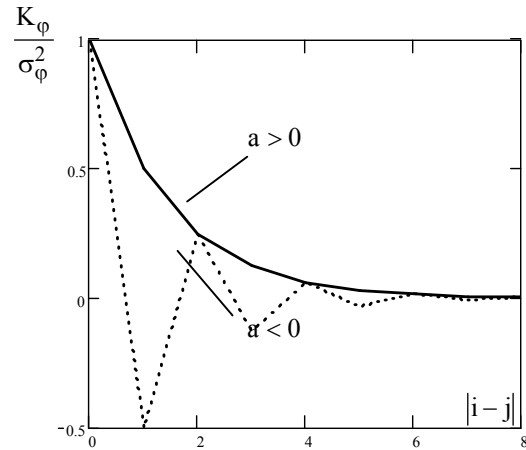


Рис. 4. Закони зміни кореляції фазових флуктуацій

Результати експерименту по визначенню статистичних характеристик радіолокаційних сигналів, відбитих від місцевих предметів за межами дальності прямої видимості при поширенні радіохвиль над морем наведені в роботі [22].

Отримані гістограми розподілу початкової фази відбитого сигналу РЛС 35Д6Д апроксимовані кривою, що відповідає нормальному закону розподілу, а нормована кореляційна функція має осцилюючий характер.

З урахуванням цього, закон розподілу фазових флуктуацій описується виразом виду [2, 23]:

$$p(\bar{\varphi}) = (2\pi)^{-\frac{n}{2}} |K_\varphi|^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \bar{\varphi}^T K_\varphi^{-1} \bar{\varphi}\right), \quad (23)$$

де  $\bar{\varphi} = \|\varphi_i\|$ , ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) - вектор-стовпець значень випадкових складових фаз радіоімпульсів пачки.

В роботі [23] показано, що щільність ймовірності  $P(\Delta\bar{\varphi})$  при  $m \geq 2$  визначається виразом

$$p(\Delta\bar{\varphi}) = \frac{\sqrt{1+a}}{(2\sqrt{2}\pi\sigma_{\varphi})^m (1-a^2)^{m/2}} \times \exp\left\{-\frac{1}{4\sigma_{\varphi}^2(1-a^2)}[\Delta\varphi_m^2 + (1+a+a^2)\Delta\varphi_1^2 + (1+a^2)\sum_{k=2}^{m-1}\Delta\varphi_k^2 - 2a\sum_{k=1}^{m-1}\Delta\varphi_k\Delta\varphi_{k+1}]\right\}, \quad (24)$$

де  $m$  – кількість пар радіоімпульсів, симетричних відносно центру пачки.

Застосування виразів (4), (18) та (24) дозволяє перейти до усередненого відношення правдоподібності (21).

Отримання усередненого відношення правдоподібності  $\bar{l}$  (21) дозволяє оцінити час запізнення  $\hat{t}_z$  (20) та за допомогою виразу (1) визначити дальність до цілі з врахуванням флуктуацій фаз радіоімпульсів прийнятої пачки.

## Висновки

Зростання маневрених можливостей сучасних повітряних об'єктів, використання малорозмірних та малопомітних засобів повітряного нападу обумовлює істотне підвищення вимог до тактичних характеристики засобів розвідки повітряного простору, зокрема, до дальності дії РЛС.

Виконання вказаних вимог можливе при забезпеченні високих значень відношення сигнал-шум на виході пристрою оптимальної обробки радіолокаційного сигналу, що може бути реалізовано використанням в РЛС когерентної пачки радіоімпульсів.

Реальні умови виконання РЛС завдань за призначенням призводять до виникнення флуктуацій фаз радіоімпульсів прийнятої пачки, що суттєво обмежує можливості їхнього когерентного накопичення.

Врахування статистичних властивості даних флуктуацій визначає шляхи покращення якості виявлення радіолокаційного сигналу та підвищення точності вимірювання його інформативних параметрів.

## 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. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос – М: Радио и связь, 1981. – 416 с.
3. Карлов В.Д. До питання про вимірювання дальності маловисотної цілі при її радіолокації в межах тропосферного хвилеводу над морем / В.Д. Карлов, Д.Б. Кучер, О.В. Струцінський, О.В. Лукашук // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 3 (24). – С. 98-101.
4. Карлов В.Д. Використання підведених радіохвилеводів для збільшення дальності виявлення маловисотних цілей над морем / В.Д. Карлов, О.В. Струцінський, К.П. Квіткін // Системи озброєння і військова техніка – 2016. – № 1 (45). – С. 153-156.
5. Ширман Я.Д. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория. – М: З.А.О. «МАКВИС», 1999. – 828 с.
6. Карлов В.Д. Підхід до рішення задачі оптимального виміру дальності до літака-носія високоточної зброї з урахуванням особливостей його локації в тропосферному радіохвилеводі / В.Д. Карлов, О.Б. Котов, Ю.Б. Ситнік, А.О.Родюков // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 1 (18) – С. 82-84.
7. Лобкова Л.М. Распространение радиоволн над морской поверхностью. М: Радио и связь, 1991. 256 с.
8. Карлов В.Д. Синтез вимірювача дальності маловисотної цілі над морем за межами дальності прямої видимості в умовах аномальної рефракції / В.Д. Карлов, О.П. Кондратенко, А.К. Шейгас, Ю.Б. Ситнік // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2013. – № 4 (28). – С. 27-31.
9. Карлов В.Д. Оптимальне вимірювання дальності до цілі в когерентно-імпульсних РЛС шляхом врахування фазових спотворень радіолокаційного сигналу при його поширенні над морською поверхнею / В.Д. Карлов, А.М. Артеменко, О.Л. Кузнецов // Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах: зб. тез доповідей XVIII НТК ДНДІ виробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – Чернігів, 2018.
10. Белевщук Я.О. Розробка методики оцінки радіолокаційних характеристик вертолітної техніки Повітряних Сил Збройних Сил України / Я.О. Белевщук, М.М. Бречка, В.О. Василець, О.І. Сухаревський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2011. – № 1 (5) – С. 83-88.
11. Карлов В.Д. Особливості локації вертольотів в умовах поширення радіохвиль над морем / В.Д. Карлов, А.М. Артеменко, О.В. Струцінський, І.М. Пічугін // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 4 (53). – С. 93-96.
12. Карлов В.Д. Особливості локації вертольотів здійснюючих політ над морем на малих висотах / В.Д. Карлов, О.М. Бесова, І.М. Пічугін, О.В. Струцінський // Новітні технології-для захисту повітряного простору : зб. тез доповідей 14 НК ХНУПС. 11 – 12 квітня 2018 р. – Харків, 2018. – С. 444.
13. Карлов В.Д. Особливості локації вертольотів над морем з урахуванням головного гвинта / В.Д. Карлов, А.І. Нос, І.М. Пічугін, Т.М. Курцева // Новітні технології-для захисту повітряного простору: зб. тез доповідей Тринадцятої наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 12–13 квітня 2017 р. – Харків, 2017. – С. 446.
14. Карлов В.Д. Алгоритм вимірювання дальності в автоматизованих системах наведення винищувальної авіації на маловисотну ціль над морем / В.Д. Карлов, О.Б. Котов, І.М. Пічугін, Д.В. Карлов // Системи обробки інформації. – 2015. – № 10 (135). – С. 205-207.
15. 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>



16. Карлов В.Д. Особливості локації вертольотів в умовах поширення радіохвиль над морем / В.Д. Карлов, А.М. Артеменко, А.М. Коржов, О.В. Струцінський // Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах: зб. тез доповідей XVIII НТК ДНДІ випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – Чернівці, 2018.
17. Кучук Г.А. Минимизация загрузки каналов святы вычислительной сети / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вип. 1(5). – С. 149-154.
18. 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>
19. 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.
20. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies*. Zilina, 2015. P. 266-271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
21. Карлов В.Д. Оптимізація вимірювання дальності до цілі при її радіолокації в межах тропосферного хвилеводу над морем. / В.Д. Карлов, А.М. Артеменко, О.В. Струцінський, І.М. Пічугін // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – № 5 (45). – С. 18-21.
22. Карлов В.Д. Статистичні характеристики радіолокаційних сигналів відбитих від місцевих предметів в умовах аномальної рефракції. / В.Д. Карлов, А.О.Родюков, І.М.Пічугін // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 4 (21) – С. 71-74.
23. Карлов В.Д. Постановка задачі оптимального оцінювання радіальної швидкості цілі при врахуванні корельованих флукуацій початкових фаз радіоімпульсів прийнятої пачки / В.Д. Карлов, О.Л. Кузнецов, А.М. Артеменко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2018. – № 3 (57). – С. 115-121.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко,

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

Received (Надійшла) 11.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.06.2019

#### **Постановка задачі оптимального измерения дальности до цели в когерентно-импульсной РЛС при учете фазовых искажений радиолокационного сигнала**

В. Д. Карлов, А. Л. Кузнецов, А. Н. Артеменко, А. Д. Карлов

В статье рассмотрены вопросы анализа возможностей обеспечения заданной дальности действия РЛС, способной осуществлять радиолокационное наблюдение малозаметных, малоразмерных и маневрирующих целей. Обоснована целесообразность использования когерентной пачки радиоимпульсов для обеспечения необходимой дальности обнаружения с заданными показателями качества. Дан сравнительный анализ возможностей использования одиночного и пачечного радиосигналов. Доказана необходимость учета коррелированных фазовых флукуацій радиоимпульсов принятой пачки при измерении дальности до цели. Предполагается, что фазовые флукуации распределены по нормальному закону с нулевым средним, а их корреляция убывает с увеличением интервала между радиоимпульсами пачки по экспоненциальному или знакопеременному законам. На вход приемного устройства РЛС поступают отраженные от целей сигналы на фоне некоррелированного гауссовского шума. Оценивание времени запаздывания радиолокационного сигнала осуществляется по критерию максимума натурального логарифма отношения правдоподобия, усредненного по всем возможным значениям случайных информативных параметров. В явном виде получено выражение нормированной функции рассогласования когерентной пачки при наличии фазовых флукуацій ее радиоимпульсов. Учет фазовых флукуацій радиоимпульсов принятой пачки при измерении дальности до цели позволит улучшить эффективность решения когерентно-импульсными РЛС задач по назначению.

**Ключевые слова:** радиолокационное наблюдение, когерентная пачка радиоимпульсов, фазовые флукуации, дальность до цели, время запаздывания, статистические характеристики, достаточная статистика, отношение правдоподобия, гауссовский шум.

#### **Statement of the problem of optimal distance measurement to a target in a coherent pulse radar, taking into account the phase distortion of the radar signal**

V. Karlov, O. Kuznetsov, A. Artemenko, A. Karlov

The article deals with the analysis of the possibilities to ensure a range of a radar, that can realize radar observation of low-profile, small-sized and maneuvering targets. The expediency of using a coherent burst of radio pulses to provide the necessary detection range with specified quality indicators is substantiated. A comparative analysis of the possibilities of using single and burst radio signals is given. Proven the need, to take into account correlated phase fluctuations of the radio pulses of the pack when measuring the distance to the target. It is assumed that phase fluctuations are distributed according to the normal law with zero mean, and their correlation decreases with an increase in the interval between the radio bursts of the packet exponentially or alternately. Signals reflected from targets are fed to the input of the receiver against the background of uncorrelated Gaussian noise. The lag time of radio signal is estimated by the maximum criterion of the natural logarithm of the likelihood ratio, averaged over all possible values of random non-informative parameters. An explicit expression is obtained for the normalized mismatch function of a coherent packet during the presence of phase fluctuations of its radio pulses. Taking into account the phase fluctuations of the radio pulses of a taken pack when measuring the distance to the target will improve the efficiency of solving coherent-pulse radar tasks for purposes

**Keywords:** radar surveillance, coherent burst of radio pulses, phase fluctuations, target range, lag time, statistical characteristics, sufficient statistics, likelihood ratio, Gaussian noise.

Б. Т. Кононов, Ю. Д. Мусаїрова, О. Є. Куян

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ АНАЛОГІЙ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БЕНЗИНОВИХ ТА ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

З'ясовується зв'язок між явищами, що відбуваються в гідравлічних та електричних системах шляхом порівняння процесів руху рідини в магістральних нафтопроводах та процесів, що відбуваються в лініях електропередачі з розподіленими параметрами. Встановлюються гідравлічні і електричні аналоги, а саме тиск рідини та напруга, витрата рідини та струм, гідравлічне коло представляється у вигляді електричного кола, визначаються поняття гідравлічного активного опору, гідравлічної індуктивності та гідравлічної ємності. Пропонується розглядати гідравлічні системи як динамічні ланки, зміни значень параметрів котрих доцільно застосовувати для оцінювання технічного стану бензинових або дизельних двигунів внутрішнього згорання, використовуючи при цьому такі фізичні величини, що характеризують роботу систем двигунів, як тиск та витрата рідини, і визначаючи технічний стан цих систем шляхом з'ясування зміни амплітудних, частотних, фазових та часових характеристик динамічних кіл, створених гідравлічними активними опорами, гідравлічними індуктивностями та гідравлічними ємностями.

**Ключові слова:** двигуни внутрішнього згорання, електрогідравлічні аналоги, динамічні ланки, гідравлічний активний опір, гідравлічна індуктивність та гідравлічна ємність, технічна діагностика гідравлічних систем.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Дієвим засобом дослідження явищ та процесів, що мають місце в механічних, електричних, гідравлічних та пневматичних системах зразків озброєння та військової техніки є математичне моделювання, яке здійснюється з допомогою систем рівнянь, які отримуються з використанням основних постулатів фізики, механіки та електротехніки і враховують принцип Ж. Д. Аламбера, закони І. Ньютона, Г. Кірхгофа, Дж.К. Максвелла та Г.С. Ома.

Єдність рівнянь, що описують явища, які відбуваються в різних за своєю природою системах, дає підставу стверджувати, що дослідження процесів в механічних, гідравлічних та пневматичних системах може бути замінено дослідженням аналогічних процесів в електричних системах, оскільки моделювання процесів в електричних колах цих систем не приводить до появи суттєвих труднощів, властивих механічним, гідравлічним та пневматичним системам, електричні системи більш компактні, вимірювання параметрів цих систем більш прості, а результати цих вимірювань більш точні, що свідчить на користь використання, так званих, електро-механічних, електрогідравлічних та електропневматичних аналогій, які базуються на систематичному переносі теорії електричних кіл в механіку, гідравліку та пневматику. З'ясуємо, як можливо використати основні положення електрогідравлічної аналогії для аналізу технічного стану систем змащення, охолодження та паливоподачі бензинових й дизельних двигунів автономних та резервних військових електростанцій й силових установок зразків бронетанкової та автомобільної техніки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Метод електрогідравлічної аналогії знайшов широке використання при розгляді процесів руху рідини в магістральних нафтопроводах [1–3]. Цей метод використовується при моделюванні режимів роботи

відцентрових насосів, гідроприводу та інших елементів, що входять до складу гідравлічних систем [2–4].

В відомій літературі [4–14] електрогідравлічні аналоги розглядалися лише для випадку моделювання в системах з розподіленими параметрами. Зрозуміло, що електрогідравлічні аналогії можуть використовуватися для гідравлічних систем, в яких параметри елементів цих систем можуть розглядатися в якості зосереджених параметрів.

**Мета статті** – обґрунтування можливості використання електрогідравлічних аналогій при оцінюванні технічного стану систем дизельних та бензинових двигунів.

### Виклад основного матеріалу

Можливість використання методу електрогідравлічної аналогії підтверджується прикладом порівняння системи рівнянь для потоку рідини в нафтопроводі [2] з системою рівнянь, що описує взаємозалежність електричних параметрів в лінії з розподіленими параметрами [15]. Так, диференціальні рівняння в часткових похідних для потоку рідини в нафтопроводі мають такий вигляд

$$\begin{aligned} -\frac{\partial P}{\partial x} &= \frac{2a}{S} Q + \frac{\rho_0}{S} \frac{\partial Q}{\partial t}, \\ -\frac{\partial Q}{\partial x} &= \frac{S}{\rho_0 C^2} \frac{\partial P}{\partial t}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $P$  - тиск рідини;  $Q$  - витрата рідини;  $S$  - площа поперечного перерізу нафтопроводу;  $\rho_0$  - щільність рідини;  $C$  - швидкість звуку в рідині;  $a$  - коефіцієнт в'язкого тертя, що визначається втратами кінетичної енергії в нафтопроводі;  $x$  - відстань від початку нафтопроводу.

Відповідні диференціальні рівняння в часткових похідних для лінії електропередачі з розподіленими параметрами без врахування втрат в ізоляції записуються таким чином:

$$\begin{aligned} -\frac{\partial U}{\partial x} &= RI + L \frac{\partial I}{\partial t} \\ -\frac{\partial I}{\partial x} &= C \frac{\partial U}{\partial t} \end{aligned} \quad (2)$$

де  $U$ ,  $I$  – напруга та струм на відстані  $x$  від початку лінії;  $R$ ,  $L$ ,  $C$  – активний опір, індуктивність та ємність, віднесені до одиниці довжини лінії.

Співставлення (1) та (2) дає підставу стверджувати, що диференціальні рівняння для потоку рідини в нафтопроводі та диференціальні рівняння лінії електропередачі з розподіленими параметрами ідентичні.

Фізичні величини, що входять в ці рівняння, подібні та існує аналогія між ними, відомості щодо якої наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1 – Електричні та гідравлічні аналоги

Система	Фізичні величини		Параметри елементів		
Електрична	Напруга $U$ , В	Струм $I$ , А	Активний опір $R$ , Ом	Електрична індуктивність $L$ , Гн	Електрична ємність $C$ , Ф
Гідравлічна	Тиск $P$ , Па	Витрата $Q$ м <sup>3</sup> /с	Гідравлічний опір $R_2 = \frac{2a}{S}$ , с·Па/м <sup>3</sup>	Гідравлічна індуктивність $L_2 = \frac{\rho_0}{S}$ , с <sup>2</sup> ·Па/м <sup>3</sup>	Гідравлічна ємність $C_2 = \frac{S}{\rho_0 C^2}$ , м <sup>3</sup> /Па

Розмірності в табл. 1 наведені з урахуванням того, що витрата  $Q$  вимірюється в м<sup>3</sup>/с, а тиск  $P$  вимірюється в Паскалях, де 1Па=кг/м·с<sup>2</sup>, а між напором  $H$  та тиском  $P$  існує наступний зв'язок

$$H = P/\rho g, \quad (3)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\rho$  – щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>.

Таким чином, гідравлічний опір визначається втратами на тертя і обернено пропорційний перерізу гідравлічних ліній, гідравлічна індуктивність обумовлюється інерцією рідини, що переміщується в нафтопроводі, в якій накопичується кінетична енергія, а гідравлічна ємність є елементом, в якому накопичується потенційна енергія і визначається податливістю, обернено пропорційною жорсткості гідравлічної рідини. Зрозуміло, що будь-яку складну гідравлічну систему можливо розглядати як електричну систему, в якій елементи  $R_2$ ,  $L_2$  та  $C_2$  з'єднані послідовно або паралельно. Визначаючи вхідний опір кожної ділянки гідравлічної системи, користуючись при цьому методами теорії електричних кіл [15], можливо знайти вхідний опір всієї гідравлічної системи, що включає зосереджені неоднорідності типу фільтрів, зворотних та запобіжних клапанів, місцевих опорів тощо, та, аналізуючи зміни у часі вхідного опору гідравлічної системи, можливо зробити висновок щодо технічного стану цієї системи або стану її окремих елементів.

Вважаючи, що гідравлічні системи бензинового або дизельного двигуна внутрішнього згорання, а саме система паливоподачі, система змащення і система охолодження представляються як системи, до складу яких входять такі простіші елементи як активний гідравлічний опір  $R_2$  з постійною або змінною (що регулюється) площею прохідного перерізу, зосереджена ємність  $C_2$ , величина якої є постійною або змінною та гідравлічна індуктивність, що визначається взаємодією маси  $m$  робочої рідини та елементів гідравлічних систем, тобто  $L_2$ , та враховуючи те, що простіші елементи з'єднані паралельно,

тобто тиск, що діє на ці елементи однаковий, а насоси в цих системах включені через фільтр, активний опір якого дорівнює  $R_\phi$ , складемо наступне диференціальне рівняння для визначення витрати рідини через паралельно з'єднані  $R_2$ ,  $L_2$  та  $C_2$ . Користуючись аналогічним співвідношенням для електричних кіл з паралельним з'єднанням  $R$ ,  $L$ ,  $C$ , отримуємо

$$\frac{1}{R_2} P + C_2 \frac{dP}{dt} + \frac{1}{L_2} \int P dt = Q. \quad (4)$$

Після перетворення (4) до стандартного вигляду маємо

$$C_2 \frac{d^2 P}{dt^2} + \frac{1}{R_2} \frac{dP}{dt} + \frac{1}{L_2} P = \frac{dQ}{dt}. \quad (5)$$

Вводячи позначення оператора диференціювання  $S = \frac{d}{dt}$ , представимо (5) в вигляді

$$\left( C_2 S^2 + \frac{1}{R_2} S + \frac{1}{L_2} \right) P = S Q \quad (6)$$

або отримуємо, що

$$Q = Y(S) \cdot P, \quad (7)$$

$$\text{де } Y(S) = \frac{S^2 C_2 + \frac{S}{R_2} + \frac{1}{L_2}}{S}.$$

Втрати тиску  $\Delta P$  на фільтрі дорівнюють

$$\Delta P = Q \cdot R_\phi. \quad (8)$$

Вважаючи, що тиск перед фільтром дорівнює  $P_1$ , а тиск після фільтру дорівнює  $P_2$ , запишемо

$$\begin{aligned} P_1 &= P_2 + \Delta P = P_2 + Q R_\phi = \\ &= P_2 + P_2 R_\phi Y(S) = \\ &= P_2 [1 + Y(S) R_\phi]. \end{aligned} \quad (9)$$

Враховуючи (9), отримуємо наступне диференціальне рівняння для визначення закономірності зміни тиску у часі

$$R_\phi C_2 \frac{d^2 P_2}{dt^2} + \frac{R_\phi + R_2}{R_2} \frac{dP_2}{dt} + \frac{R_\phi}{L_2} P_2 = \frac{dP_1}{dt}. \quad (10)$$

Вільні складові рішення (10) знаходять, зазвичай, з виразу

$$P_2(t) = A_1 e^{S_1 t} + A_2 e^{S_2 t}, \quad (11)$$

де  $A_1$  та  $A_2$  – постійні коефіцієнти, які знаходять з початкових умов та законів комутації, відповідно до яких витрата через такий елемент гідравлічної системи як гідравлічна індуктивність миттєво не змінюється, а тиск на такому елементі гідравлічної системи як гідравлічна ємність в початковий момент часу перехідного процесу лишається незмінним;  $S_1$  та  $S_2$  – корені характеристичного рівняння

$$R_\phi C_2 S^2 + \frac{R_\phi + R_2}{R_2} S + \frac{R_\phi}{L_2} = 0. \quad (12)$$

Значення  $S_1$  та  $S_2$  знаходяться таким чином:

$$S_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}, \quad (13)$$

де  $\delta = \frac{R_\phi + R_2}{R_\phi C_2 R_2}$  – ступінь затухання;

$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{C_2 L_2}}$  – частота коливань.

Зміна в процесі експлуатації двигуна внутрішнього згоряння значень  $R_\phi$ ,  $R_2$ ,  $L_2$  та  $C_2$  приводить до зміни характеру перехідного процесу в системі паливоподачі, змащення або охолодження, що може бути використано для оцінювання технічного стану цих систем. Спроба використовувати в якості показника діагностування тиск в гідравлічних системах [16] не дозволяє отримати необхідну точність оцінювання технічного стану цих систем й в деяких обставинах ця оцінка може бути неоднозначною, оскільки на результати оцінювання впливають нестационарні режими руху рідини, при яких значення гідравлічних опорів як окремих елементів системи так і всієї системи можуть змінюватися в широкому діапазоні. Удосконалення цього способу оцінювання технічного стану двигуна внутрішнього згоряння, запропонованого в [17], відповідно до якого в якості діагностичного показника слід використовувати відносні зміни тиску рідини в гідравлічних системах та порівнювати ці зміни із граничними значеннями, лише частково усуває неоднозначність результатів оцінювання технічного стану. Справа, в цьому випадку, полягає в тому, що в нестационарних режимах роботи гідравлічних систем дуже складно з'ясувати дійсні причини зміни тиску. В [18] запропоновано, проводячи аналіз стану гідравлічної системи з позицій електрогідравлічної аналогії, використовувати в якості діагностичного показника власну

частоту коливань в гідравлічній системі під час перехідного процесу, який викликаний наперед заданими збуреннями. При цьому в [18] доведено, що по мірі зносу деталей двигуна внутрішнього згоряння відбувається зменшення власної частоти коливань тиску, що викликає зростання відносної величини власної частоти коливань тиску  $\overline{\omega_0}(t)$ , яка визначається з виразу

$$\overline{\omega_0}(t) = \frac{\omega_0(t_0) - \omega_0(t)}{\omega_0(t_0)}, \quad (14)$$

де  $\omega_0(t_0)$ ,  $\omega_0(t)$  – власна частота коливань тиску гідравлічної системи, отримана перед початком експлуатації двигуна внутрішнього згоряння та власна частота коливань тиску в довільний, наприклад, момент часу  $t$ , в який проходить контроль.

Діапазон використання способу оцінювання технічного стану двигуна внутрішнього згоряння, запропонованого в [18], обмежується варіантами гідравлічних систем, у яких гідравлічні параметри  $R_\phi$ ,  $R_2$ ,  $L_2$ ,  $C_2$  підібрані так, що їх значення обумовлюють коливальний характер перехідного процесу, коли в співвідношенні (13)  $\omega_0 > \delta$ . У тих випадках, коли значення цих гідравлічних параметрів обумовлюють аперіодичний характер перехідного процесу, тобто тоді, коли  $\delta > \omega_0$ , цей спосіб оцінювання технічного стану двигуна внутрішнього згоряння не може бути використаний.

Разом з тим, метод електрогідравлічних аналогій вказує на дві можливості подолання вказаної обмеженості.

Перша з них, так звана “фазова”, полягає в тому, що в якості діагностичного показника слід використовувати зсув за фазою між пульсаціями тиску рідини на вході та виході фільтра [19]. При використанні фазового методу оцінювання технічного стану двигуна внутрішнього згоряння [20] в контролюємі моменти часу  $t_i$  та  $t_{i+1}$  при заданій частоті пульсацій тиску рідини, наприклад, рівній  $\omega(t) = \omega_0$ , вимірюють кути зсуву за фазою  $\phi(\omega_0, t_i)$  та  $\phi(\omega_0, t_{i+1})$ , визначають різницю між кутами зсуву за фазою пульсацій тиску рідини й обчислюють швидкість зміни різниці фаз відповідно до формули

$$V = \frac{\phi(\omega_0, t_{i+1}) - \phi(\omega_0, t_i)}{t_{i+1} - t_i} \quad (15)$$

та знаходять значення абсолютного відхилення кута зсуву за фазою  $\Delta\phi(\omega_0, t_{i+1})$ , яке визначається таким чином:

$$\Delta\phi(\omega_0, t_{i+1}) = |\phi(\omega_0, t_{i+1}) - \phi_\delta|, \quad (16)$$

де  $\phi_\delta$  – допустиме значення кута зсуву за фазою. За цим методом допустимий час роботи гідравлічної системи без проведення її обслуговування  $T_\delta$  визначають з виразу



$$T_{\partial} = \frac{\Delta\phi(\omega_0, t_{i+1})}{V}. \quad (17)$$

В разі використання іншого (“часового”) способу подолання зазначеної обмеженості при  $\delta \gg \omega_0$  в варіанті використання способу оцінювання технічного стану двигуна внутрішнього згоряння [18] пропонується в якості показника для оцінювання технічного стану двигуна внутрішнього згоряння обирати тривалість перехідного процесу  $\tau$  при зміні тиску в гідравлічній системі, яка в випадку аперіодичного характеру перехідного процесу визначається меншим значенням модуля кореня  $S_1$  характеристичного рівняння (12), тобто

$$\tau_a = k \left| -\delta + \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} \right|, \quad (18)$$

а в випадку коливального характеру перехідного процесу

$$\tau_k = k\delta, \quad (19)$$

де  $k$  – коефіцієнт, який, зазвичай, обирають рівним 3 або 4, що свідчить про завершення перехідного процесу.

### Висновки

1. Використання методу електрогідравлічної аналогії, заснованому на застосуванні теорії електри-

чних кіл, для математичного моделювання роботи гідравлічних систем, створення нового або удосконаленого існуючого обладнання цих систем, з’ясування особливостей їх експлуатації дозволяє суттєво спростити розрахунок гідравлічних кіл та наглядно і просто виконати аналіз їх роботи.

2. Відповідно до методу електрогідравлічної аналогії будь-яку гідравлічну систему можливо представити як електричне коло, аналогом напруги в якому є тиск рідини, аналогом струму є витрата рідини, а елементами цього кола є гідравлічний активний опір, гідравлічна індуктивність і гідравлічна ємність.

3. Метод електрогідравлічної аналогії можливо використовувати для визначення технічного стану таких гідравлічних систем бензинового та дизельного двигуна внутрішнього згоряння як система паливоподачі, система змащення та система охолодження.

4. При оцінюванні технічного стану гідравлічних систем бензинових або дизельних двигунів внутрішнього згоряння з використанням методу електрогідравлічної аналогії в якості діагностичних параметрів доцільно застосовувати такі фізичні величини цих систем як тиск та витрата й визначати технічний стан обладнання гідравлічних систем, обираючи для цього в якості діагностичних показників зміну амплітудних, частотних, фазових та часових характеристик динамічних кіл, створених гідравлічними активними опорами, гідравлічними індуктивностями та гідравлічними ємностями.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аронзон Н.З., Козлов В.А., Козобков А.А. Применение электрического моделирования для расчета компрессорных станций. – М.: Недра, 1969. – 178 с.
2. Костишин В.С. Моделирование режимов работы центробежных насосов на основе электрогидравлической аналогии. – М.: Ивано-Франковск. – ИФДТУНТ, 2000. – 115 с.
3. Дружинин Н.И. Метод электродинамических аналогий и его применение для исследования фильтрации. – М.: ГЭН, 1956. – 155 с.
4. Попов Д.Н. Нестационарные гидромеханические процессы. – М.: Машиностроение, 1982. – 239 с.
5. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies*. 2015. P. 266-271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
6. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп’ютерних систем об’єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв’язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113. DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>
7. Mohammed, A. S. Optimal Forecast Model for Erbil Traffic Road Data. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2017. Vol. 29, No 5. P. 137–145. DOI: <https://doi.org/10.21271/ZJPAS.29.5.15>
8. Saravana, Balaji B., Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), “Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation”, *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.09.013>
9. Gomathi B, Karthikeyan N K, Saravana Balaji B, “Epsilon-Fuzzy Dominance Sort Based Composite Discrete Artificial Bee Colony optimization for Multi-Objective Cloud Task Scheduling Problem”, *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*, Volume 13, Issue 1-3, 2018, pages 247-266, DOI: <https://doi.org/10.1504/IJBIDM.2018.088435>
10. Dhivakar B., Saravanan S.V., Sivaram M., Krishnan R.A. Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique”. *Computer Science and Engineering*. 2012. Vol. 2, Issue 5. pp.43-45. doi: <http://doi.org/10.5923/j.computer.20120205.01>
11. Sivaram M., Yuvaraj D., Amin Salih Mohammed, Porkodi, V., Manikandan V. The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2018. Vol. 8, iss. 2. pp. 95-100.
12. G. Kuchuk, A. Kovalenko, I.E. Komari, A. Svyrydov, V. Kharchenko. Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method. *Studies in Systems, Decision and Control*, vol 171. Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, 2019. Pp. 161-183. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4\\_8](http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8)
13. Kuchuk G., Kharchenko V., Kovalenko A., Ruchkov E. Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems. *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*. 2016. Pp. 1-6. doi: <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655>.

14. G. Kuchuk, A. Kovalenko, V. Kharchenko, A. Shamraev, "Resource-oriented approaches to implementation of traffic control technologies in safety-critical I&C systems" in book: Green IT Engineering: Components Network and Systems Implementation, Springer International Publishing, vol. 105, pp. 313-338, 2017.
15. Атабеков Г.И. Теоретические основы электротехники. Часть 1. – М.: Энергия, 1966. – 320 с.
16. АС СССР №352169. Способ оценки технического состояния двигателя внутреннего сгорания. М.Кл<sup>3</sup>. G01M 15/00, 1972 г.
17. Льюис Э., Стерн. К. Гидравлические системы управление. – М.: Мир, 1966. – 394 с.
18. АС СССР №896466 Способ оценки технического состояния двигателя внутреннего сгорания. Б.Т. Кононов, К.Г. Сергеев, В.К. Терещенков, В.И. Тимошкин, Ю.Д. Шевцов М.Кл<sup>3</sup>. G01M 15/00, от 13.05.1980, опубликовано 07.01.1982 бн.№1
19. Сторожев В.Н. Определение сроков службы масла в судовых дизелях с помощью автомата Двигателестроение, 1980, №3, с. 40-42.
20. АС СССР №966525 Способ оценки технического состояния двигателя внутреннего сгорания. Б.П. Байков, В.Т. Егоркин, Б.Т. Кононов, В.З. Ройк, К.Г. Сергеев, Р.З. Тараховский, Ю.Д. Шевцов. М.Кл<sup>3</sup>. G01M 15/00, от 03.04.1981, опубликовано 15.10.1981 бн.№38.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б. Г. Любарський,  
Національний технічний університет  
"Харківський політехнічний інститут", Харків  
Received (Надійшла) 08.04.2019  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.05.2019

### **Использование электрогидравлических аналогий при диагностировании технического состояния бензиновых и дизельных двигателей внутреннего сгорания**

Б. Т. Кононов, Ю. Д. Мусаирова, О. Е. Куян

Выясняется связь между явлениями, происходящими в гидравлических и электрических системах путем сравнения процессов движения жидкости в магистральных нефтепроводах и процессов, происходящих в линиях электропередачи с распределенными параметрами. Устанавливаются гидравлические и электрические аналогии, а именно давление жидкости и напряжение, расход жидкости и ток, гидравлический круг представлен в виде электрической цепи, определяются понятия гидравлического активного сопротивления, гидравлической индуктивности и гидравлической емкости. Предлагается рассматривать гидравлические системы как динамические звенья, изменения значений параметров которых целесообразно применять для оценки технического состояния бензиновых или дизельных двигателей внутреннего сгорания, используя при этом такие физические величины, которые характеризуют работу систем двигателей, как давление и расход жидкости, и определяя техническое состояние этих систем путем выяснения изменения амплитудных, частотных, фазовых и временных характеристик динамических цепей, созданных гидравлическими активными сопротивлениями, гидравлическими индуктивностями и гидравлическими емкостями.

**Ключевые слова:** двигатели внутреннего сгорания, электрогидравлические аналогии, динамические звенья, гидравлическое активное сопротивление, гидравлическая индуктивность и гидравлическая емкость, техническая диагностика гидравлических систем.

### **Use of electro-hydraulic analogies in diagnosing the technical condition of petrol and diesel engines for internal combustion**

B. Kononov, Yu. Musairova, O. Kuyan

This article clarifies the relationship between the phenomena occurring in hydraulic and electrical systems by comparing the processes of fluid flow in trunk pipelines and the processes occurring in power lines with distributed parameters. It turns out how it is possible to use the basic provisions of the electro-hydraulic analogy for the analysis of the technical condition of the lubrication systems, cooling and fuel supply of gasoline and diesel engines of autonomous and backup power plants and power plants of samples of armored and automotive vehicles. Hydraulic and electrical analogues are established, namely, fluid pressure and voltage, fluid flow and current, the hydraulic circle is represented as an electrical circuit, the concepts of hydraulic resistance, hydraulic inductance and hydraulic capacity are defined. It is proposed to consider hydraulic systems as dynamic links, changes in the values of which parameters should be used to assess the technical condition of gasoline or diesel internal combustion engines, using such physical quantities that characterize the operation of engine systems such as pressure and fluid flow, and determining the technical condition of these systems by identifying changes in the amplitude, frequency, phase and time characteristics of dynamic circuits created by hydraulic actuators resistances, hydraulic inductances and hydraulic capacitances. The purpose of this article is to substantiate the possibility of using electro-hydraulic analogies when evaluating the technical condition of diesel and gasoline engines. Using the method of electro-hydraulic analogy, which is based on the application of the theory of electrical circuits, for mathematical modeling of hydraulic systems, creating new or improved existing equipment of these systems, determining the features of their operation can significantly simplify the calculation of hydraulic circuits and also visually and simply perform an analysis of their work.

**Keywords:** internal combustion engines, electro-hydraulic analogies, dynamic links, hydraulic resistance, hydraulic inductance and hydraulic capacity, technical diagnostics of hydraulic systems.

В. Б. Кононов<sup>1</sup>, Е. Р. Тутузьян<sup>2</sup>, Д. С. Ольховіков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

<sup>2</sup>Державне підприємство “Чугуївський авіаційний ремонтний завод”, Чугуїв

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ПОХИБКИ ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗРАЗКІВ РАДІОТЕХНІЧНОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ ПРОТИДІЇ ШКІДЛИВОМУ ВПЛИВУ НА СИГНАЛ

**Предметом** вивчення в статті є шматково-східчастий сигнал, що необхідний для отримання заданого значення коефіцієнта гармоніки. **Метою статті** є визначення методики оцінки інструментальної похибки частотних характеристик зразків радіотехнічної техніки в умовах протидії шкідливому сигналу, з подальшим вирішенням задачі цифрового аналогового синтезу сигналу із коефіцієнтом гармонік, що був перебудований, за умови мінімального числа рівнів шматково-східчастого сигналу, необхідного для отримання заданого значення коефіцієнта гармоніки. **Задача, що вирішується**, – обґрунтування технічних рішень, впровадження яких в практику вимірювання дозволять визначити методику оцінки інструментальної похибки частотних характеристик зразків радіотехнічної техніки в умовах протидії шкідливому впливу на сигнал. **Висновки:** запропоновані технічні рішення дозволяють визначити методи цифрового аналогового синтезу шматково-східчастих сигналів із коефіцієнтом гармонік, що був перебудований. Вони включають методику розрахунку параметрів сигналу, що синтезується, способи його формування і оцінку погрешностей задавання коефіцієнта гармонік. Це надає обслузі зразків радіотехнічної техніки необхідний методичний апарат для використання прецизійних калібраторів коефіцієнта гармонік, які протидіють шкідливому впливу на сигнал, що обробляється.

**Ключові слова:** коефіцієнт гармонік, шматково-східчастих сигналів, інструментальна похибка.

### Вступ

**Постановка задачі.** В умовах протидії шкідливому впливу на сигнал, обслуга зразків радіотехнічної техніки повинна мати можливість протидії цьому впливу, якій безпосередньо впливає на ефективність й безпеку застосування радіолокаційної техніки.

При походженні сигналів, при формуванні куту фазового зсуву між двома гармонічними сигналами, використовується три методи: виділення сигналу вищих гармонік із періодичного сигналу довільної форми, підсумовування декількох гармонічних сигналів із необхідним співвідношенням частот і збагачення спектру синусоїдального сигналу. При дослідженні частотних характеристик фазових зсувів між двома синусоїдними напругами, на аналоговій та цифровій елементній базі можливо поява інструментальної похибки частотних характеристик зразків радіотехнічної техніки. Визначення методики оцінки інструментальної похибки частотних характеристик зразків радіотехнічної техніки в умовах протидії шкідливому сигналу, з подальшим вирішенням задачі цифрового аналогового синтезу сигналу із перебудованим коефіцієнтом гармонік за умови мінімального числа рівнів шматково-східчастого сигналу, необхідного для отримання заданого значення коефіцієнта гармоніки, визначає актуальність розглядаємого питання, описом якого й присвячена стаття.

**Аналіз літератури.** Принципи й організаційні основи метрологічного забезпечення, а також роль й місце метрологічного забезпечення Збройних Сил України, викладено в наказах [1 - 3], в статтях [4, 5], літературі [6 - 11] та інструкції [12]. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливос-

ті викладено в статтях [4-]. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів вимірювальної техніки військового призначення викладено в статті [5]. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО викладені в літературі [6-12]. Нажаль, в більшості джерел питання, які пов'язані з визначенням методики оцінки інструментальної похибки частотних характеристик зразків радіотехнічної техніки в умовах протидії шкідливому сигналу, з подальшим вирішенням задачі цифроаналогового синтезу сигналу із перебудованим коефіцієнтом гармонік за умови мінімального числа рівнів шматково-східчастого сигналу, необхідного для отримання заданого значення коефіцієнта гармоніки, не розглядалися.

**Метою статті** є визначення методики оцінки інструментальної похибки частотних характеристик зразків радіотехнічної техніки в умовах протидії шкідливому сигналу, з подальшим вирішенням задачі цифроаналогового синтезу сигналу із перебудованим коефіцієнтом гармонік за умови мінімального числа рівнів шматково-східчастого сигналу, необхідного для отримання заданого значення коефіцієнта гармоніки.

### Основний матеріал

Оцінимо інструментальну похибку частотних характеристик зразків радіотехнічної техніки, в умовах протидії шкідливому впливу на сигнал, використовуючи при цьому коефіцієнт гармонік, яка обумовлена похибкою формування шматково-східчастого сигналу  $f(\alpha)$ . Ця похибка має дві складові, що викликаються неточністю (похибками) рівнів  $f_i$  сигналу  $f(\alpha_i)$  та фазових координат  $\alpha_i$  точок перемикавання цих рівнів. В результаті реальний сигнал відрізняється від ідеального деякою адитивною переш-

кодою  $\xi(\alpha)$ :

$$\tilde{f}(\alpha) = f(\alpha) + \xi(\alpha), \quad (1)$$

де перешкода  $\xi(\alpha)$  враховує обидві складові похибки, що конкретизуються нижче.

Визначимо методикою оцінювання інструментальної похибки, для чого підрахуємо похибку визначення коефіцієнта гармонік сигналу  $\tilde{f}(\alpha)$ , використовуючи вираз квадрату коефіцієнта гармонік шматково-східчастий сигналу  $f(\alpha)$ :

$$k_G^2 = \frac{4}{\pi A_1^2} \int_0^{\pi/2} [f(\alpha) - A_1 \sin \alpha]^2 d\alpha, \quad (2)$$

де  $A_1$  - амплітуда першої гармоніки сигналу  $f(\alpha)$ .

$$A_1 = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} f(\alpha) \sin \alpha d\alpha, \quad (3)$$

в (2) для скорочення записів введемо позначення:

$$B = \pi/4 \int_0^{\pi/2} [f(\alpha) - A_1 \sin \alpha]^2 d\alpha, \quad (4)$$

отже 
$$K_G^2 = B/A_1^2. \quad (5)$$

Ця формула відповідає відсутності похибок при визначенні величин  $B$  і  $A_1$ . Для абсолютного значення похибки коефіцієнта гармонік, що має назву інструментальні похибки визначення величин  $B$  і  $A_1$ , із (5) одержимо:

$$\Delta K_G = \frac{1}{2K_G} \cdot \frac{A_1^2 \Delta B - B \Delta(A_1^2)}{A_1^4}. \quad (6)$$

Замінюючи, згідно (5),  $B = K_G^2 A_1^2$  маємо:

$$\Delta K_G = \frac{1}{2K_G} \cdot \frac{\Delta B - K_G^2 \Delta(A_1^2)}{A_1^2}. \quad (7)$$

Обчислимо величини  $\Delta B$  і  $\Delta(A_1^2)$ . Величину  $\Delta B$  знаходимо із (2) із урахуванням (1):

$$\begin{aligned} \Delta B &= \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} [f(\alpha) + \xi(\alpha) - (A_1 + \Delta A_1) \sin \alpha]^2 d\alpha - \\ &\quad - \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} [f(\alpha) - A_1 \sin \alpha]^2 d\alpha = \\ &= \frac{4}{\pi} \left\{ \begin{aligned} &2 \int_0^{\pi/2} [f(\alpha) - A_1 \sin \alpha][\xi(\alpha) - \Delta A_1 \sin \alpha] d\alpha - \\ &\int_0^{\pi/2} [\xi(\alpha) - \Delta A_1 \sin \alpha]^2 d\alpha \end{aligned} \right\}, \end{aligned} \quad (8)$$

де  $\Delta A_1 \sin \alpha$  - перша гармоніка перешкоди (похибки)  $\xi(\alpha)$ ;  $[\xi(\alpha) - \Delta A_1 \sin \alpha]$  - складова перешкоди, обумовлена вищими гармоніками перешкоди  $\xi(\alpha)$ .

Для оцінки першого інтеграла в (8) скористаємося нерівністю Коші - Буняковського:

$$\begin{aligned} &\left| \int_0^{\pi/2} [f(\alpha) - A_1 \sin \alpha][\xi(\alpha) - \Delta A_1 \sin \alpha] d\alpha \right| \leq \\ &\leq \left\{ \int_0^{\pi/2} [f(\alpha) - A_1 \sin \alpha]^2 d\alpha \int_0^{\pi/2} [\xi(\alpha) - \Delta A_1 \sin \alpha]^2 d\alpha \right\}^{1/2} \quad (9) \end{aligned}$$

У цій нерівності, беручи до уваги (4), маємо

$$\int_0^{\pi/2} [f(\alpha) - A_1 \sin \alpha]^2 d\alpha = \frac{\pi}{4} B = \frac{\pi}{4} K_G^2 A_1^2. \quad (10)$$

Після підстановки (9) із урахуванням (10) в (8) отримаємо:

$$\begin{aligned} \Delta B &\leq \left\{ \frac{4}{\pi} \sqrt{\pi} K_G A_1 \left[ \int_0^{\pi/2} (\xi(\alpha) - \Delta A_1 \sin \alpha)^2 d\alpha \right]^{1/2} + \right. \\ &\quad \left. + \int_0^{\pi/2} (\xi(\alpha) - \Delta A_1 \sin \alpha)^2 d\alpha \right\}, \end{aligned} \quad (11)$$

а величину  $\Delta A_1$  знаходимо із (3) із урахуванням (1):

$$\Delta A_1 = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi/2} \xi(\alpha) \sin \alpha d\alpha, \quad (12)$$

вона представляє собою амплітуду основної гармоніки перешкоди (похибки)  $\xi(\alpha)$  у формуванні сигналу  $f(\alpha)$ . Позначимо  $\xi(\alpha) - \Delta A_1 \sin \alpha = \xi_B(\alpha)$ , тоді:

$$\begin{aligned} &\int_0^{\pi/2} [\xi(\alpha) - \Delta A_1 \sin \alpha]^2 d\alpha = \int_0^{\pi/2} \xi_B(\alpha) d\alpha \leq \\ &\leq \int_0^{\pi/2} \xi^2(\alpha) d\alpha = \frac{\pi}{2} \bar{\xi}^2, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\bar{\xi}^2 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} \xi^2(\alpha) d\alpha; \quad (14)$$

де  $\bar{\xi}^2$  - середнє квадратичне значення перешкоди  $\xi(\alpha)$  або похибки формування сигналу  $f(\alpha)$ .

Підставляючи (13) і (11) остаточно одержимо:

$$\Delta B \leq 2\sqrt{2} K_G A_1 \sqrt{\bar{\xi}^2} + 2\bar{\xi}^2. \quad (15)$$

Визначимо величину  $\Delta(A_1^2)$ , яку представимо початковою рівністю:

$$\Delta(A_1^2) = (A_1 + \Delta A_1)^2 - A_1^2 = 2A_1 \cdot \Delta A_1 + (\Delta A_1)^2. \quad (16)$$

Для оцінки величини  $\Delta A_1$  знов скористаємося нерівністю Коші - Буняковського:

$$\begin{aligned} |\Delta A_1| &= \frac{4}{\pi} \left| \int_0^{\pi/2} \xi(\alpha) \sin \alpha d\alpha \right| \leq \\ &\leq \frac{4}{\pi} \left[ \int_0^{\pi/2} \xi^2(\alpha) d\alpha \cdot \int_0^{\pi/2} \sin^2 \alpha d\alpha \right]^{1/2}. \end{aligned} \quad (17)$$



Використовуючи (14), маємо  $\Delta A_1 \leq \sqrt{2\bar{\xi}^2}$ .

Після підстановки (15) і (17) в (7) одержимо:

$$|\Delta K_G| \leq \sqrt{2}(1+K_G)\delta\xi + \frac{1+K_G^2}{K_G}(\delta\xi)^2, \quad (18)$$

де  $\delta\xi = \sqrt{\bar{\xi}^2}/A_1$ ;  $\delta\xi$  – відносне середнє квадратичне значення похибки формування шматково-східчастого сигналу  $f(\alpha)$ . В співвідношенні (18) розглядається окремий випадок рівномірної дискретизації і не враховується складова похибки, обумовлена похибкою задавання фазових координат  $\alpha_i$  точок перемикавання сигналу  $f(\alpha)$ .

Відносна похибка  $\delta\xi$  являється величиною малою. Тому при чималих значеннях коефіцієнта гармонік  $K_G$  другим додатком в (18), квадратичним по похибці  $\delta\xi$ , можна нехтувати, так що:

$$|\Delta K_G| \leq \sqrt{2}(1+K_G)\delta\xi \quad (19)$$

При малих значеннях коефіцієнта гармонік  $K_G$  необхідно провести порівняння лінійного і квадратичного по похибці членів в (18). Якщо  $K_G \ll 1$ , то, нехтуючи в (3.14) величинами  $K_G$  і  $K_G^2$  у порівнянні з одиницею, маємо:

$$|\Delta K_G| \leq \sqrt{2}\delta\xi + \frac{1}{K_G}(\delta\xi)^2. \quad (20)$$

У цьому виразі другим членом можна нехтувати при умові  $\delta\xi \ll K_G$ , де

$$\Delta K_G \leq \sqrt{2}\delta\xi, \quad (21)$$

й відносна похибка задавання коефіцієнта гармонік буде малою:  $\delta K_G \ll \frac{\Delta K_G}{K_G} \ll 1$ . Якщо  $\delta\xi \geq K_G$ , то

$\Delta K_G \approx K_G$  й абсолютна похибка  $\Delta K_G$  задавання коефіцієнта гармонік також буде малою, а відносна похибка  $\delta K_G$  може бути великою. При цьому в (20) при оцінці похибки необхідно враховувати обох членів. Такий випадок на практиці може мати місце тоді, коли не вимагається точного вимірювання коефіцієнта гармонік, а необхідне лише виявлення (контроль) наявності нелінійних спотворень із коефіцієнтом гармонік, більшим, ніж деяке певне значення.

Виразимо сумарну похибку  $\sqrt{\bar{\xi}^2}$  через вказані вище дві її складові. Для цього запишемо величину  $\bar{\xi}^2$  у вигляді суми складових по окремих фазових інтервалах  $\Delta\alpha_i = \alpha_{i+1} - \alpha_i$  сигналу  $f(\alpha)$ :

$$\bar{\xi}^2 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi/2} \xi^2(\alpha) d\alpha = \frac{2}{\pi} \sum_{i=0}^p \int_{\alpha_i}^{\alpha_{i+1}} \xi_i^2(\alpha) d\alpha. \quad (22)$$

Позначимо через  $\Delta h_i$  похибку формування рівня  $f_i$  сигналу  $f(\alpha)$ , а через  $\beta_i$  - похибку задавання фазової координати  $\alpha_i$  точки перемикавання

цього рівня. Прийmemo природне допущення про малість обох похибок, що означає  $\Delta h_i \ll h$ ,  $\beta_i \ll \Delta\alpha_i = \alpha_{i+1} - \alpha_i$ . Розглянемо найсприятливіший випадок, коли всі похибки  $\beta_i$  мають один знак, наприклад вони позитивні. Тоді на фазовому інтервалі  $\alpha_i, \alpha_i + \beta_i$  похибка  $\xi_i = -h$ , а на фазовому інтервалі  $\alpha_i + \beta_i, \alpha_{i+1}$  похибка  $\xi_i = \Delta h$ . Тому:

$$\int_{\alpha_i}^{\alpha_{i+1}} \xi_i^2(\alpha) d\alpha = \int_{\alpha_i}^{\alpha_i + \beta_i} \xi^2(\alpha) d\alpha = h^2\beta_i + (\Delta h_i)^2 \Delta\alpha_i. \quad (23)$$

Із урахуванням даної рівності формула (22) приймає вигляд:

$$\bar{\xi}^2 = \frac{2}{\pi} \sum_{i=0}^p \left[ h^2(\beta_i) + (\Delta h_i)^2 \Delta\alpha_i \right]. \quad (24)$$

Проведемо оцінку цієї похибки по максимуму, вважаючи похибки  $\Delta h_i$  і  $\beta_i$  максимальними, тобто  $\Delta h_m = \max \Delta h_i$ ;  $\beta_m = \max \beta_i$ . Далі, враховуючи рівності  $\sum_{i=0}^p \Delta\alpha_i = \frac{\pi}{2}$  і  $\beta_0 = 0$ , із (24) одержимо

$$\bar{\xi}^2 = \frac{2p}{\pi} h^2 \beta_m + (\Delta h_m)^2.$$

Запишемо вираз для відносної середньої квадратичної похибки формування сигналу  $f(\alpha)$ . Вважаючи, що амплітуда першої гармоніки сигналу  $A_1 \geq ph$ , маємо:

$$\delta\xi = \frac{\sqrt{\bar{\xi}^2}}{A_1} \leq \left[ \frac{2\beta_m}{\pi p} + \left( \frac{\Delta h_m}{ph} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (25)$$

У цій формулі перший доданок в прямих дужках представляє собою складову похибки, що викликається зміщенням  $\beta_i$  фазових координат  $\alpha_i$  точок перемикавання сигналу  $f(\alpha)$  щодо розрахункових значень, а другий доданок - складову похибки за рахунок неточності формування рівнів  $f_i$  сигналу  $f(\alpha)$ , обумовлену інструментальною погрішністю ЦАП. Вирази (18) або (19), або (20) або (21) сумісно із (25), дозволяють провести оцінку похибки коефіцієнта гармонік, що задається шматково-східчастим сигналом  $f(\alpha)$ .

Розглянемо різні способи реалізації методу цифраналогового синтезу шматково-східчастих сигналів із коефіцієнтом гармонік, що перебудовується за рахунок зміни фазових координат  $\alpha_i$  точок перемикавання рівнів  $f_i$  сигналу  $f(\alpha)$ . Перший із цих способів полягає в зміні фазових координат  $\alpha_i$  точок перемикавання сигналу  $f(\alpha)$  при постійному числі  $p$  і рівномірному проходженні рівнів  $f_i$ . При другому способі число  $p$  рівнів  $f_i$  на чверті періоду

сигналу  $f(\alpha)$  слід узяти із умови  $p_{\max} = 2^l$ . По цьому значенню  $p_{\max}$  необхідно визначити фазові координати  $\alpha_i$  точок перемикання рівнів  $f_i$  сигналу  $f(\alpha)$ . Якщо в процесі формування сигналу здійснювати перемикання із всіх  $p_{\max}$  координатах  $\alpha_i$ , то одержимо найменше (при даному  $p_{\max}$ ) значення коефіцієнта гармонік  $K_{\Gamma \min}$ . Якщо максимальне число  $p_{\max}$  рівнів  $f_i$  сигналу  $f(\alpha)$  зменшувати удвічі, вчетверо і т.д., задаючи фазові координати  $\alpha_i$  через дві, чотири і т.д. відносно початкових. розрахункових точок (при  $p_{\max}$ ), то одержимо 1 значень коефіцієнта гармонік. Перевага даного способу полягає в тому, що не потрібно кожного разу визначати заново положення точок перемикання сигналу  $f(\alpha)$ .

Третій спосіб являється розвитком попереднього. Він полягає в тому, що при формуванні сигналу  $f(\alpha)$  перебудову його коефіцієнта гармонік здійснюють збільшенням рівнів  $f_i$  удвічі в кожній з фазових координат  $\alpha_i$ . Очевидно, до останнього,  $p$ -му рівню сигналу  $f(\alpha)$  будуть задіяні не всі фазові координати  $\alpha_i$ , а лише  $p/2$  координат; в інших  $p/2$  фазових координатах рівень сигналу  $f(\alpha)$  буде постійним, рівним максимальному значенню.

Для отримання особливо малих значень коефіцієнта гармонік можна використовувати, четвертий спосіб формування сигналу  $f(\alpha)$ . Задають значення  $p$  (а отже із умови мінімуму коефіцієнта гармонік  $K_{\Gamma \min}$ ), кожному з яких відповідає своє розташування фазових координат  $\alpha_i$ . Такий спосіб найбільш ефективний, при великих значеннях  $p$ , коли зміна  $p$  на одиницю забезпечує малу дискретність задавань коефіцієнта гармонік. Однак, якщо при цьому способі використовувати один і той же ЦАП, то при зміні  $p$  пропорційно змінюватиметься амплітуда сигналу  $f(\alpha)$ , що може бути враховане при градуванні вихідного пристрою калібратору.

Важливою перевагою даного методу формування сигналу  $f(\alpha)$  являється і те, що вибір фазових координат  $\alpha_i$  можна здійснити виходячи з необхідності забезпечення не лише заданих значень коефіцієнта гармонік цього сигналу, але і його гармонійного складу, наприклад, виключити 3-ю гармоніку, або 3-ю і 5-у гармоніки і т.д.

### Висновки

1. За результатами запропонованої методики авторами вирішена задача цифроаналогового синтезу сигналу із коефіцієнтом гармонік, що було перебудовувано за умови мінімального числа рівнів шматково-східчастого сигналу, необхідного для отримання заданого значення коефіцієнта гармоніки. Гармонійний склад сигналу при цьому не задавався.

2. Для збагачення сигналу парними гармоніками слід відмовитися від використання умов симетрії. Це потребує збільшення числа формованих (різних) рівнів сигналу (при тому ж їх загальному числі  $h$ ), оскільки вони повинні відрізнятися через півперіоду сигналу не лише знаком, але і по значенню.

3. Якщо разом з коефіцієнтом гармонік потрібно буде задати і гармонійний склад сигналу, то задача цифроаналогового сигналу зводиться, по суті, до апроксимації сигналу заданої форми за допомогою шматково-східчастого сигналу. Звісно, для вирішення такої задачі потрібно, взагалі кажучи, більше число рівнів формованого сигналу, ніж для задачі синтезу, що була розглянута вище.

4. Таким чином, пропонуються методи цифроаналогового синтезу шматково-східчастих сигналів із перебудовуваним коефіцієнтом гармонік. Вони включають методику розрахунку параметрів сигналу, що синтезується, способи його формування і оцінку погрешностей задавання коефіцієнта гармонік. Це надає обслузі зразків радіотехнічної техніки необхідний методичний апарат для використання прецизійних калібраторів (або зразкових заходів) коефіцієнта гармонік, які протидіють шкідливому впливу на сигнал, що обробляється.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Наказ Міністерства оборони України від 24.05.2017 № 288 “Про затвердження Положення про метрологічну службу Міністерства оборони України та Збройних Сил України”.
2. Наказ Міністра оборони України від 18.01.2010 № 12 “Про затвердження Концепції розвитку системи метрологічного забезпечення у сфері оборони на період до 2015 року та на перспективу до 2025 року”.
3. Наказ начальника Центрального управління метрології і стандартизації від 14.05.2007 № 2 “Про затвердження Керівництва з організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в МО України та ЗС України”.
4. Кононов В.Б., Бурцева В.В. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків ОБТ з урахуванням їх важливості // Системи обробки інформації. – Вип.1 (147). –2017. – С. 88 –92.
5. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies*. 2015. P. 266-271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
6. Кучук Г. А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, А.А. Янковский // Системи обробки інформації. – 2014. – № 7(123). – С. 93-96.
7. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113. DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>
8. Mohammed, A. S. Optimal Forecast Model for Erbil Traffic Road Data. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2017. Vol. 29, No 5. P. 137–145. DOI: <https://doi.org/10.21271/ZJPAS.29.5.15>

9. Saravana, Balaji B., Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), "Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.09.013>
10. Gomathi B, Karthikeyan N K, Saravana Balaji B, "Epsilon-Fuzzy Dominance Sort Based Composite Discrete Artificial Bee Colony optimization for Multi-Objective Cloud Task Scheduling Problem", *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*, Volume 13, Issue 1-3, 2018, pages 247-266, DOI: <https://doi.org/10.1504/IJBIDM.2018.088435>
11. Dhivakar B., Saravanan S.V., Sivaram M., Krishnan R.A. Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique". *Computer Science and Engineering*. 2012. Vol. 2, Issue 5. pp.43-45. doi: <http://doi.org/10.5923/j.computer.20120205.01>
12. Sivaram M., Yuvaraj D., Amin Salih Mohammed, Porkodi, V., Manikandan V. The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2018. Vol. 8, iss. 2. pp. 95-100.
13. Кононов В.Б. Методика прогнозування можливостей метрологічних підрозділів з відновлення пошкоджених засобів ВТ військового призначення // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 8 (85) – С. 231 – 234.
14. Кононов В.Б., Науменко А.М., Водолажко О.В., Коваль О.В., Кондрашова І.І. Основи експлуатації засобів вимірвальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО. - Харків: ХНУПС, 2017. – С. 288.
15. Кононов В.Б. Застосування електричних вимірювань засобами вимірвальної техніки в умовах проведення АТО: навч. посіб./ В.Б. Кононов, А.М. Науменко, О.В. Коваль та ін.. – Х.:ХНУПС, 2018. – 392 с.
16. Кононов В.Б. Instrumentation and general principles of sensors. Part 1: навч. посіб./ В.Б. Кононов, А.М. Науменко, О.В. Коваль та ін.. – Х.:ХНУПС, 2018.-64 с.
17. Організація метрологічного забезпечення військ (сил). Ч. 1 / І.Б. Кузнецов, П.М. Яблонський. – К.: НУОУ, 2009. – 356 с.
18. Організація застосування пересувних засобів метрологічного обслуговування: навч. посіб. / І. Б. Кузнецов, О. В. Ярошенко. – К. : НУОУ, 2009. – 356 с.
19. Кузнецов І. Б., Марценківський В. Т., Ярошенко О. В., Буяло О. В., Проценко В. О. Удосконалення парку пересувних лабораторій вимірвальної техніки як фактор підвищення оперативності та ефективності метрологічного обслуговування складних систем // *Зб. наук. праць КНУ ім. Тараса Шевченка*. Вип. 32. – К. : ВКНУ, 2011. – С. 33–46.
20. Інструкція з організації роботи виїзних метрологічних груп метрологічних частин, затверджена начальником Центрального управління метрології і стандартизації – головним метрологом ЗС України від 09.10.2006.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. І. Кондрашов,

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Received (Надійшло) 18.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

#### **Методика оценки инструментальной погрешности частотных характеристик образцов радиотехнической техники в условиях противодействия вредного влияния на сигнал**

В. Б. Кононов, Е. Р. Тутузьян, Д. С. Ольховиков

**Предметом** изучения статьи являются кусочно - сходящий сигнал, необходимый для получения заданного значения коэффициента гармоник. **Целью статьи** является определение методики оценки инструментальной погрешности частотных характеристик образцов радиотехнической техники в условиях противодействия вредному сигналу, с последующим решением задачи цифроаналогового синтеза сигнала с перестроенным коэффициентом гармоник учитывая условия минимального числа уровней кусочно - сходящегося сигнала, необходимого для получения заданного значения коэффициента гармоник. **Решаемая задача** – обоснование технических решений, внедрение которых в практику измерений позволят определить методику оценки инструментальной погрешности частотных характеристик образцов радиотехнической техники в условиях противодействия вредному сигналу. **Выводы:** предложенные технические решения позволяют определить методы цифроаналогового синтеза синтезируемого кусочно - сходящий сигнала, способы его формирования и оценку погрешности задаваемого коэффициента гармоник. Что позволит обслуживающему персоналу образцов радиотехнической техники необходимый методический аппарат для использования прецизионных калибраторов коэффициента гармоник, которые противодействуют вредному влиянию на обрабатываемый сигнал.

**Ключевые слова:** коэффициент гармоник, кусочно - сходящийся сигнал, инструментальная погрешность.

#### **Method of estimating the instrumental error of the frequency characteristics samples of radio tensile in the conditions of counteraction of harmful influence on a signal**

V. Kononov, E. Tutuzian, D. Olhovikov

**The subject** of the study of the article are piecewise step-by-step signal necessary to obtain a given harmonic signal. **The purpose of the article is** determination of the method of estimation of instrumental error of the frequency characteristics samples of radio equipment in the conditions of counteraction of harmful influence on a signal with the subsequent solution of the problem of digital-to-analog synthesis with tunable harmonic distortion of subject to a minimum number of levels step-by-step signal necessary to obtain a given harmonic signal. **The task is** to justification of technical solutions, the introduction of which in the practice of measurement will allow to define the method of estimation of instrumental error of the frequency characteristics samples of radio tensile in the conditions of counteraction of harmful influence on a signal. **Conclusions:** proposed technical solutions will allow to define methods of digital-to-analog synthesis piecewise step-by-step signals with tunable harmonic distortion on the method intermediate control check, with its help, it is advisable to promptly adjust the duration of the verification interval. They include the methods of calculation of the signal parameters of the synthesized, methods of its formation of the error of the harmonic distortion. This gives the attendants of the samples radio equipment necessary metrological apparatus to use precision harmonic distortion calibrators, which counteracting harmful effects on the processed signal.

**Keywords:** harmonic distortion, piecewise step-by-step signal, instrumental error.

О. В. Наконечний

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## АНАЛІЗ УМОВ ТА ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ЛОГІСТИКИ СИЛ ОБОРОНИ ДЕРЖАВИ

Досвід історії війн і воєнних конфліктів показує, що у кожній успішно проведеній воєнній компанії, операції, бою, як і у кожній поразці, необхідно, поряд з іншими причинами, шукати позитивні та негативні сторони у роботі органів матеріально-технічного забезпечення, їх організації, можливостях і способах забезпечення. Розвиток системи логістичного забезпечення завжди здійснювався паралельно з розвитком збройних сил і способів ведення війни, операції і бою. Нові види озброєння, бойової техніки, способи ведення бойових дій висували свої вимоги до системи логістичного забезпечення, змушували виробляти більш сучасні форми організації системи логістичного забезпечення і способи забезпечення. В ході проведеного автором статті дослідження встановлено, що на даний час детальний аналіз умов та факторів, що впливають на якість функціонування системи логістичного забезпечення проведений недостатньо повно. Саме тому, автором зазначеної статті проведено детальний аналіз умов та факторів, що впливають на якість функціонування системи логістичного забезпечення. В ході дослідження були детально розглянуті системи логістичного забезпечення Збройних Сил Сполучених штатів Америки, Збройних Сил Російської Федерації, Збройних Сил Федеративної республіки Німеччини, Збройних Сил Туреччини, Сил оборони Держави Ізраїль, Збройних Сил Франції та Збройних Сил України. В процесі проведеного дослідження автором використані як загальнонаукові, так і спеціальні методи дослідження: семантичний – для розвитку сутнісної частини дефініції категорійного апарату військової логістики; методи економічного аналізу – для оцінювання тенденцій у військовому забезпеченні Збройних Сил України; методи системного аналізу – для оцінювання передумов та інтеграції цілей у процесі формування військової логістичної системи; методи економіко-математичного моделювання – для оптимізації структури та внутрішніх процесів військової логістичної системи. За результатами проведеного аналізу автором було визначені основні недосконалості системи логістичного забезпечення Збройних Сил України та проведено обґрунтування шляхів удосконалення системи логістичного забезпечення Збройних Сил України.

**Ключові слова:** система логістичного забезпечення, сили оборони держави, ефективність, форми та способи.

### Вступ

Враховуючи наявність об'єктивного чинника стримування реформування Збройних Сил України (ЗС України), типового в контексті теорії менеджменту змін (консервативність, опір змінам), необхідно визнати недостатність теоретичних розробок щодо оптимізації шляхів реформування ЗС України, передусім їх логістичного забезпечення.

Якщо для підприємницького середовища концепція логістики все в більшій мірі сприймається як один з найбільш ефективних інструментів підвищення конкурентоспроможності за рахунок переваг у витратах, у якості, в еластичності, надійності, то для військової сфери це не завжди є характерним.

Система логістики є сполучною ланкою між підприємствами промисловості і ЗС України (силами оборони держави), в інтересах яких замовляється, виготовляється, зберігається, розподіляється та організовується виконання відповідних робіт і послуг [1-8].

Організація системи логістики ЗС України передбачає широке використання ресурсів підприємств економічного комплексу держави.

Вже згадана система не є автономною і самодостатньою, вона вбудована в загальні економічні процеси держави і схильна до впливу не тільки кризових явищ в економіці, але і перетворень, що відбуваються в системі державного управління.

**Метою** зазначеної статті є проведення аналізу умов та факторів, що визначають ефективність функціонування системи логістики сил оборони держави.

Завдання проведення аналізу умов та факторів, що впливають на ефективність функціонування системи логістики сил оборони держави доцільно розділити на окремі взаємопов'язані завдання дослідження, а саме:

- аналіз системи логістичного забезпечення ЗС США, ЗС РФ, ЗС ФРН, ЗС Туреччини, Сил оборони Держави Ізраїль та ЗС Франції;

- аналіз недоліків системи логістичного забезпечення ЗС України на загальнодержавному та стратегічному рівнях;

- розробка науково-обґрунтованих перспектив розвитку системи логістичного забезпечення сил оборони держави на підставі проведеного аналізу.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Проведемо розгляд порядку роботи систем логістичного забезпечення ЗС США, ЗС РФ, ЗС ФРН, ЗС Туреччини, Сил оборони Держави Ізраїль та ЗС Франції.

#### *ЗС США.*

У військових конфліктах в останні 10-15 років військовим керівництвом збройних сил США було виявлено ряд суттєвих недоліків в організації логістичного забезпечення. В основному це стосувалося різниці даних, між реальною наявністю матеріальних засобів в підрозділах і з тим, що фактично обліковано на папері в вищестоящих органах [1-4]. Найчастіше це призводило до неправильного планування розподілу майна і порядку доставки цього майна до військових частин, незнанням підрозділами місцезнаходження транспортних засобів, що здійснює

перевезення матеріальних засобів для поповнення ресурсів та ін. В тому числі доходило до того, що контейнери, які прибувають морем залишалися в портах на кілька місяців і ніхто не знав, що в них знаходиться і куди їх відправляти [5-12].

Для усунення недоліків у системі логістичного забезпечення військово керівництво ЗС США стало більше приділяти уваги на створення, підтримку та відновлення бойової потужності сухопутних військ на належному рівні.

Тому, за останні роки командуванням сухопутних військ ЗС США проведено велику роботу з реформування в системі логістичного забезпечення.

Розвиток системи логістичного забезпечення по теперішній час проходить в рамках концепції "Армія-2020". Ця концепція включає зміни всіх видів логістичного забезпечення, в тому числі і систему забезпечення паливно-мастильними матеріалами (ПММ). Ключові зміни в великій мірі торкнулися порядку розподілу, транспортування і зберігання паливно-мастильних матеріалів.

В результаті проведеного аналізу системи логістичного забезпечення армії США можна прийти до висновку, що логістична система забезпечення паливно-мастильними матеріалами в мирний і воєнний час має ряд переваг з іншими системами. Тому, необхідно більш детально вивчити систему забезпечення ПММ США і врахувати їх досвід.

Реформування системи логістичного забезпечення ЗС США почалося ще в вересні 2004 року і проходить по теперішній час.

Заключна частина цієї реформи приходить на 2025 рік, коли в повній мірі буде розвинене "інформаційне середовище". За думкою деяких американських фахівців, логістичне забезпечення стане дворівневим і об'єднаним, де перший рівень - це тилловий, або як його ще називають, стратегічний, тобто основний, а другий рівень - це передовий, або як його ще називають, оперативний.

Стратегічний рівень буде включати в себе об'єднаний штаб з представниками всіх видів Збройних Сил. Об'єднані структури, виконують певні функції існування управлінь тилу Міністерства оборони, комітету начальників штабів (КНШ) і центральних органів тилу ЗС, головна функція яких - це інтеграція процесів тилового забезпечення в тилловій зоні (континентальна частина США).

Оперативний рівень також буде включати відносно невеликий об'єднаний штаб з представниками всіх видів ЗС і розширеним видовим управлінням тилом.

В ході цього, система логістичного забезпечення ЗС США пройшла декілька етапів розвитку і перетворення.

Для більш конкретного вивчення проведення реформування в структурі логістичного забезпечення розглянемо одну з груп, а саме окремі батальйони постачання ПММ. До реформування система постачання ПММ була ешелонованою, з підтриманням встановленого вищим командуванням ЗС США рівня запасу в кожному ешелоні. В результаті цього проводилися постійні циклічні поставки ПММ в

різні підрозділи. Доставка ПММ проводилася шляхом використання трубопроводів, а також залізничним транспортом і автомобільним транспортом.

Порядок поставки був наступний:

з корпусних складів на дивізійні пункти постачання відбувалося транспортними засобами корпусу, а звідти в батальйони - дивізійним транспортом. Заправка бойових машин здійснювалася батальйонними паливозаправниками безпосередньо в бойових порядках або поблизу району розміщення тилових підрозділів. Це призводило до розміщення корпусних і дивізійних запасів ПММ в тиллових районах бригад, де знаходилися стаціонарні наземні сховища таких матеріалів.

При проведенні бойових операцій було виявлено, що така система забезпечення вимагає великих затрат. Більшою мірою, це стосувалося часових показників і грошових інвестицій для доставки ПММ в район проведення бойової операції [10]. Подібна організація постачання ПММ можлива була тільки при відносній захищеності тиллових районів і вимагала забезпечення безпеки ліній комунікацій. З усього вищевикладеного можна прийти до висновку, що дана система постачання ПММ має багато недоліків, які в свою чергу, можуть привести до "збою" цієї системи, в результаті чого в ході реалізації концепції "Армія-2020" було прийнято рішення внести деякі корективи в систему забезпечення ПММ армії США [8-16].

В ході реформування постачання на оперативному рівні було замінено на модульну концепцію, яка помітно відрізняється від схеми, що використовувалася до цього.

Вона базується на трьох аспектах:

велика автономність бойових підрозділів;

мобільність всіх запасів ПММ;

відсутність необхідності в забезпеченні повної безпеки та захищеності тиллових районів.

При цьому ПММ будуть безпосередньо доставлятися в бойові підрозділи, по можливості без проміжного зберігання. Зріс потенціал тиллових підрозділів по зберігання запасів і досягнута мобільність останніх. Тепер у бригад постачання і бойових бригадних груп відпала необхідність утримувати запаси ПММ на стаціонарних наземних сховищах.

Це призвело до значного підвищення ефективності і гнучкості системи забезпечення ПММ підрозділів, що виконують бойову операцію. Для цього були створені батальйони постачання ПММ, які призначені для зберігання, транспортування і забезпечення паливно-мастильними матеріалами підрозділів, що знаходяться на віддаленні від пункту постійної дислокації як в мирний, так і у воєнний час [7-11].

Батальйон постачання ПММ складається з штабу і штабної роти, двох і більше рот постачання ПММ і 1-3 транспортних рот підвезення ПММ. До складу підрозділів, що ведуть бойові дії в посушливих або пустельних районах, може також входити спеціальний батальйон постачання водою. При його відсутності пункти водопостачання створюються інженерними підрозділами.



Керівництво США розглядає батальйони постачання ПММ як систему на рівні "бойових систем" з усіма наслідками, що випливають звідси. Відповідно до оперативної концепції, сформульованою в документі КНШ, відбувся перехід від традиційного забезпечення до "цілеспрямованому забезпечення", в результаті чого з'явилася концепція "Контролю над усіма ресурсами" (Total asset visibility).

В ході реформування в майбутньому планується впровадити інновації в систему забезпечення ПММ, що різко змінить підтримку бойових підрозділів. Безсумнівно, значне скорочення переміщення ресурсів ПММ на території виконання бойового завдання буде результатом впровадження інформаційних технологій. У зв'язку з цим буде забезпечуватися безпрецедентна видимість не тільки наявних ресурсів в пунктах їх розміщення, а й в процесі їх переміщення. Наприклад, пристрої що працюють в радіодіапазоні, прикріплені до вантажів контейнерів і контролюємі через будь-які інші засоби, дозволяють реалізувати їх супровід.

Нові комп'ютерні системи для автотранспорту надаватимуть додаткову інформацію в інтересах тилового забезпечення, наприклад, про умови зберігання та перевезення (контроль температури, густини та інш.).

Таким чином, скоротилося кількість майна, що зберігається на складах, що дозволило Міністерству оборони США скоротити грошові витрати на забезпечення з 47,9 до 15 млрд доларів [4].

Зменшилися терміни доставки ПММ в підрозділи, що виконують бойове завдання на віддалі від пунктів постійної дислокації військ, що грає велику роль у виконанні спеціальної операції на території іншого штату. Буде проводитися постійний (циклічний) контроль пересування, стану і витрати ПММ [6].

Всі ці зміни накладають позитивний відбиток не тільки на військову, але і економічну систему забезпечення держави.

Також, командування ЗС США приділяє значну увагу удосконаленню організаційної структури частин і підрозділів матеріального, технічного забезпечення, органів управління тилом, а також розробці та практичній перевірці нових принципів і способів постачання військ.

Основна мета проведених організаційних заходів полягає в тому, щоб централізувати управління тилом у всіх ланках, спростити систему постачання військ, а також звільнити загальновійськові штаби всіх ступенів від детального планування матеріального і технічного забезпечення підпорядкованих військ.

На сьогоднішній день в сухопутних військах США автоматизовані системи управління вирішують завдання обліку і розподілу матеріальних і технічних засобів, управління технічним обслуговуванням і ремонтом в частинах і підрозділах, на складах і в спеціальних ремонтних підрозділах, а також ведуть контроль за транспортуванням матеріальних засобів [4-7].

Наприклад, в Збройних Силах США в управлінні армійської авіації використовується система "Альфа" (ALPHA - AMC Logistics Program Hardcore Automated), яка призначена для автоматизованого управління постачанням, технічним обслуговуванням і ремонтом, прийому, обліку та розподілу предметів постачання, контролю запасів матеріальних засобів, складання перспективних планів постачання, а також для ведення фінансової звітності [15].

Для автоматизації процесів обробки даних матеріально-технічного забезпечення на базових складах континентальної частини в сухопутних військах США застосовується система "Спідекс" (SPEEDEX - System-Wide Project for Electronic Equipment at Depots-Extended).

Для використання на проміжних складах, в тилових органах на континентальній частині США, а також на різних театрах воєнних дій американськими спеціалістами розроблена система "Сайлс" (SAILS - Standard Army Intermediate Logistics System) [4].

Автоматизована система технічного обслуговування бойової техніки "Самміс" (SAMMIS - Semi Automated Material Management Information System) дає можливість оперативно контролювати правильність експлуатації зброї, різного устаткування і бойової техніки і своєчасно вносити необхідні зміни в порядок проведення ремонтних робіт, забезпечує автоматичну видачу командирам різних ступенів щотижневих зведень про технічний стан бойової техніки. Копії зведень видаються ремонтним частинам і підрозділам з тим, щоб інформувати їх про стан бойової техніки забезпечуваних ними військ оперативно контролювати правильність експлуатації різної зброї [4].

Існуючі нормативи не дозволяють сформулювати запаси, що відображають реальний стан справ по забезпечення ПММ. Спрогнозувати цю величину - означає вирішити першорядну завдання щодо забезпечення нечисленних підрозділів. Начальник служби ПММ на етапі оцінки обстановки повинен провести корегування кількості запасів, розраховані раніше, і цю величину довести до підрозділів забезпечення.

Таким чином, за допомогою проведеного реформування в службі ПММ системи логістичного СВ США створюється оптимальна логістична система забезпечення, що дозволяє досягти головної стратегічної мети - можливості ведення військових кампаній різного масштабу на будь-якій території.

*ЗС Федеративної Республіки Німеччина.*

Сучасне поняття логістичного забезпечення ЗС Федеративної Республіки Німеччини (ФРН) охоплює не тільки питання МТЗ, а й такі аспекти, як забезпечення пожежної безпеки, безпеки використання озброєння та боеприпасів, радіаційного, хімічного та бактеріологічного захисту (РХБЗ), інфраструктурне забезпечення, а також охорони навколишнього середовища в районах застосування військових підрозділів. Відповідно до Концепції логістичного забезпечення Бундесверу, основним з органів управління логістичного забезпечення Бундесверу є

IV управління Головного штабу ЗС ФРН (німецький аналог J-4 штабів відповідного рівня у країнах НАТО). Назва управління “Тил (Логістика) Бундесверу; Захист від зброї масового ураження та завдання захисту”.

На нього покладено виконання завдань з планування, організації та керівництва логістичним забезпеченням Бундесверу, у тому числі закордонних місій, а також вирішення завдань з організації захисту ЗС від зброї масового ураження. Виконання завдань щодо організації централізованого логістичного забезпечення військ як на території ФРН, так і в зонах бойового застосування за кордоном покладаються на Базові сили Бундесверу [25, 26].

3 жовтня 2012 року на базі Відомства логістичного забезпечення Бундесверу, яке забезпечувало процеси постачання озброєння, його експлуатацію й обслуговування, та Центру логістичного забезпечення Бундесверу, відповідно до нової структури Базових сил формується Командування логістичного забезпечення Бундесверу, яке матиме у своєму складі 6 батальйонів логістичного забезпечення, спеціальний інженерний батальйон та Центр логістичного забезпечення Бундесверу.

Зазначений Центр є основним виконавчим елементом системи логістичного забезпечення, стаціонарною структурою Базових сил, в якій сконцентровані всі можливості по розподілу та забезпеченню основних послуг МТЗ. Заслугує на увагу досвід ФРН щодо логістичного забезпечення застосування Бундесверу у закордонних місіях. В рамках всебічного забезпечення участі контингенту Бундесверу у закордонній місії, питання логістичного забезпечення координуються Оперативним командуванням Бундесверу.

До виконання окремих завдань МТЗ участі військових контингентів ФРН в миротворчих та антитерористичних операціях все більше залучаються німецькі комерційні структури.

Водночас застосування аутсорсингу в умовах проведення закордонних військових операцій за участю ЗС ФРН має певні обмеження, які визначаються з огляду на низку факторів:

- інтенсивність проведення операцій та бойових дій;
- наявність та можливості сил і засобів органів логістики Бундесверу щодо всебічного забезпечення національного військового контингенту;
- собівартість послуг комерційних структур у порівнянні з витратами на залучення наявних військових/державних підрозділів, а також наявність відповідного бюджетного фінансування;
- рівень розвитку інфраструктури країни, де проводиться операція.

Зазначена система є гнучкою та кінцевими критеріями у кожному конкретному випадку виступають якість наданих послуг, надійність роботи комерційної структури а також фінансова доцільність.

#### *ЗС Франції.*

В 2009-2010 роках з метою оптимізації загальної адміністрації ЗС та раціоналізації повсякденного забезпечення військ завершено створення Міжвидо-

вого командування адміністрації та підтримки Штабу ЗС Франції (Le Commandement interarmées de l'administration et du soutien, COMIAS). Адміністративні функції, логістична та тилова підтримка покладені на це міжвидове Командування (COMIAS) [25, 26].

Командувач COMIAS має статус заступника начальника Штабу ЗС Франції з питань загального та адміністративного забезпечення військ. У його підпорядкуванні знаходиться штаб, до складу якого увійшли представники трьох видів ЗС Франції. Створення єдиного міжвидового Командування COMIAS дозволило оптимізувати адміністративний та логістичний ресурс ЗС Франції, а також вивести зі складу видів ЗС Франції, Генерального управління з озброєння (DGA) Міністерства оборони (МО) Франції та Генерального адміністративного секретаріату (SGA) МО Франції тилові та адміністративні структури з дублюючими функціями. Міжвидове Командування COMIAS належить до центрального рівня управління ЗС Франції.

Основне завдання – координація діяльності та забезпечення функціонування міжвидових баз оборони (bases de defence, BDD), які на регіональному рівні забезпечуватимуть адміністративну, логістичну та тилову підтримку військ. База оборони – це адміністративна військова одиниця, яка створена за територіальною ознакою з метою об'єднання зусиль по всебічному адміністративному, логістичному та тиловому забезпеченню дислокованих в її зоні відповідальності (близько 30 км) військових частин та підрозділів.

Мета створення баз оборони:

- раціоналізація логістичного та адміністративного забезпечення військ та зменшення загальних витрат на їх утримання;
- економія бюджетних коштів оборонного відомства та їх подальше перенацілювання для підвищення рівня оперативної готовності військ, їх бойової підготовки, а також проведення заходів з оновлення озброєння та військової техніки;
- покращення умов функціонування особового складу;
- проведення повсякденного безперебійного логістичного та адміністративного забезпечення частин та підрозділів ЗС Франції;
- виведення зі складу бойових підрозділів структур логістики та загальної адміністрації.

Організаційно-штатна структура бази оборони має гарантувати комплексну логістичну, адміністративну та тилову підтримку усіх без виключення військових підрозділів, частин та угруповань МО Франції, які дислокуються в зоні відповідальності бази оборони.

Організаційна побудова бази оборони залежить від її типу, а також від кількості частин та підрозділів, що дислокуються на її території.

#### *ЗС Туреччини.*

Система тилового забезпечення ЗС Туреччини охоплює органи управління, центри, групи і підрозділи забезпечення, різноманітні бази і пункти базування, склади, допоміжні кораблі, заводи та ремонт-

ні підрозділи. Загальне керівництво тилом ЗС Туреччини здійснює Генеральний штаб (ГШ) через Головне управління МТЗ ГШ [25, 26].

До складу Головного управління МТЗ ГШ Туреччини (J-4) входять:

управління тилу;  
інженерне управління; управління транспорту;  
медичне командування ЗС Туреччини.

Міністерство національної оборони відповідає за МТЗ та постачання для всіх видів ЗС згідно з потребами, визначеними ГШ по узгодженню з командуваннями видів ЗС та у відповідності з виділеними коштами.

Головні управління тилу видів ЗС Туреччини (J-4) здійснюють планування і контроль тилового забезпечення та командувань тилу видів, які є відповідальним за виконання тилового забезпечення видів ЗС.

Командування тилу Сухопутних військ (СВ) Туреччини призначене для всебічного МТЗ СВ, включаючи закупівлю, довгострокове зберігання, технічне обслуговування та заводський ремонт озброєння і військової техніки, постачання до військ запчастин, паливо-мастильних, ремонтно-будівельних та інших матеріалів.

Крім цього, у складі об'єднань та з'єднань СВ Туреччини існують управлінські структури та підрозділи тилового та МТЗ, зокрема:

- управління тилу армійського рівня – здійснюють планування та координацію тилового забезпечення.

- відділи тилу бригадного рівня – виконують завдання з тилового забезпечення частин, планують та організують закупівлю продуктів харчування щоденного використання.

У складі Військово-морських Сил Туреччини відсутнє окреме командування тилу. Функції тилового забезпечення покладені на Центри (групи) морського (тилового) забезпечення, центри артилерійсько-технічного забезпечення, військово-морські бази та пункти базування та дивізіон суден тилового забезпечення.

Командування тилу Військово-повітряних Сил (ВПС) Туреччини виконує завдання з тилового забезпечення частин через центри постачання і технічного обслуговування ВПС, які працюють і в якості центрів технологічного ремонту.

Крім цього, підрозділи тилового, артилерійсько-технічного та МТЗ перебувають у складі кожної авіабази (сім авіабаз) 1 та 2 авіаційних командувань, а також на військових аеродромах та військових майданчиках цивільних аеродромів.

*Сили оборони Держави Ізраїль.*

В армії оборони Ізраїлю, яка практично постійно виконує бойові завдання, вирішення завдань воєнної логістики покладається на Управління тилового забезпечення (УТЗ), яке в структурі центральних органів управління ЗС знаходиться на рівні з основними видами військ і підпорядковане безпосередньо начальнику генерального штабу [24-26].

Начальнику УТЗ підпорядковане управління логістики, яке включає центри продовольчого і ре-

чового постачання, транспортне управління, управління поставок і зберігання пального, управління поставок і зберігання боєприпасів, управління будівництва військових об'єктів, управління зберігання військового майна, ремонтно-відновлювальне управління.

Крім того, начальнику УТЗ підпорядковані війська зв'язку, електроніки і комп'ютерів, військово-медична служба, а також начальники служб озброєння і постачання зі своїми штабами. Суть реформи військової логістики, яка зараз проводиться в ЗС Ізраїлю полягає у всебічній централізації служб тилового забезпечення за рахунок скорочення багаточисельних тилових служб в ланках батальйон – бригада з передачею функцій на рівень дивізія – військовий округ. Відповідно до нової концепції основні ресурси військової логістики сконцентровані на рівні військових округів. Здійснюється перехід на територіальне розміщення і концентрацію ресурсів.

В підрозділах логістики запроваджені електронні системи контролю за потоками матеріальних засобів (так звана система повної видимості активів). Система дає можливість оперативному складу служб логістики отримувати в реальному часі інформацію про використання всіх матеріальних ресурсів, маршрути їх руху, контрольні і часові показники. Кожен елемент матеріальних ресурсів – літак, судно, танк, гармата, контейнер, вантажна машина має електронну картку, на шляхах переміщення матеріальних потоків встановлені ворота електронного контролю, які автоматично зчитують інформацію і передають її в штаби різних рівнів і центри військової логістики. Ще одним напрямком реформування військової логістики ізраїльської армії стала тенденція поступового впровадження аутсорсингу. Це і виробництво танків, і утримання складів військового майна, військове будівництво.

Разом з тим, є і негативний досвід: приватизація військових їдалень призвела до того, що в деяких випадках рівень обслуговування знизився, а витрати збільшилися. Аутсорсинг в медичному забезпеченні виявився неефективним – вартість послуг цивільних лікарів виявилась значно вищою ніж витрати на військово-медичну службу.

*ЗС Російської Федерації.*

3 січня 2011 року Російська Федерація (РФ) перейшла на нову систему забезпечення. З двох самостійних видів забезпечення військ (сил) – технічного та тилового – сформована єдина система МТЗ під керівництвом заступника міністра оборони. Інтегрована система на всіх рівнях включає оптимізовані структури тилу і озброєння, що наділені функціями із забезпечення військ (сил) усіма видами озброєння та військової техніки та інших матеріальних засобів, їх експлуатації і ремонту. Служби МТЗ оперативнотраєктних командувань здійснюють забезпечення міжвидових угруповань військ. До складу системи МТЗ військового округу входять мобільні та стаціонарні сили і засоби. Основою мобільної компоненти є бригади МТЗ постійної готовності.

Одним з найважливіших елементів системи МТЗ РФ є елемент залучення спеціалізованих орга-

нізації для виконання завдань з обслуговування військових частин, військових містечок та інших об'єктів інфраструктури МО РФ, це – ВАТ “Оборонсервіс”, а в деяких випадках і сторонні цивільні організації [5-15].

Також, окремо хотілося б акцентувати увагу на те, що в збройних силах РФ також відбувається створення автоматизованих систем логістичного забезпечення.

У ЗС РФ планується до застосування у військах перспективна автоматизована система управління матеріально-технічним забезпеченням військ (сил) “Палас”, яка призначена для реалізації в автоматизованому режимі алгоритмів роботи посадових осіб матеріально-технічного забезпечення ЗС РФ при організації матеріально-технічного забезпечення військ (сил) у мирний і воєнний час.

Основні можливості АСУ МТЗ ЗС РФ “Палас”:

- формування узагальненої інформації по матеріально-технічному забезпеченню, у вигляді документів (довідок, доповідей) за формою задається посадовою особою органу військового управління;
- проведення оперативно-тактичних розрахунків з планування матеріально технічного забезпечення;

- формування уніфікованих звітно-інформаційних документів, що передбачені Табелем термінових донесень органів військового управління матеріально-технічного забезпечення Збройних Сил Російської Федерації;

- відображення довідкової інформації про наявність, якісний стан озброєння і військової техніки, інших запасів матеріальних засобів, а також про наявність, стану, можливості військових частин і організацій матеріально-технічного забезпечення з використанням електронної топографічної карти;

- ведення автоматизованого обліку матеріальних засобів із застосуванням технології штрихового кодування.

Основні переваги АСУ МТЗ ЗС РФ “Палас”:

- уніфікація програмно-апаратного комплексу всіх рівнів управління матеріально-технічного забезпечення від заступника Міністра оборони РФ до взводу матеріального забезпечення;

- охоплення засобами автоматизації всіх основних етапів типового алгоритму роботи посадових осіб органів військового управління матеріально-технічного забезпечення із забезпеченням наступності в мирний і воєнний час;

- організація обміну інформацією з вищестоящими, підлеглими і взаємодіючими системами;

- проведення оперативно-тактичних розрахунків на автоматизованих робочих місцях посадових осіб з використанням розподілених баз даних пунктів управління.

Перейдемо до розгляду системи логістичного забезпечення сил оборони держави.

В зазначеному дослідженні автор обмежився аналізом умов та факторів на загальнодержавному та стратегічному рівні.

Функціонування системи логістики сил оборони держави знаходиться під комплексною взаємоді-

єю чотирьох основних чинників: військово-економічного, інформаційного, технічного та військово-господарського [5-23].

Зупинимося на кожному з перерахованих факторів, розглянемо їх зміст і ступінь впливу на процеси розвитку системи логістичного забезпечення сил оборони держави.

#### *Військово-економічний фактор*

Труднощі в фінансовому секторі економіки, пов'язані з кризовими явищами, відобразилися і на забезпеченні сил оборони держави новими зразками озброєння і військової техніки.

Зміни, що відбувалися в системі ринкових відносин, поставили систему системи логістичного забезпечення сил оборони держави перед необхідністю вирішення нових завдань [4; 5; 11]:

- комплексне дослідження кон'юнктури ринку;
- визначення ступеня соціально-економічного розвитку регіонів країни;

- розміщення державних замовлень;

- закупівля продукції;

- залучення сторонніх організацій для передачі їм окремих функцій забезпечення;

- розвиток механізмів державного та приватного партнерства (в тому числі в питаннях спільного будівництва і використання об'єктів логістичної інфраструктури) та ін.

#### *Інформаційний фактор*

Інформаційні зв'язки, які є причиною і наслідком розвитку ринкових відносин, багато в чому дозволяють суб'єктам господарювання вистроювати ефективну систему збору, аналізу та обміну інформацією. Військова організація держави, зважаючи на особливу специфіку діяльності, не може в повній мірі розкривають дані про потреби військ в продукції, роботах, послугах, з зазначенням номенклатури і обсягів поставок.

Ці обмеження створюють певні труднощі в питаннях оперативного обміну інформацією з виконавцями державних контрактів, роблять практично неможливим залучення консалтингових компаній з метою підвищення ефективності логістичних процесів.

#### *Технічний фактор*

Суб'єкти і об'єкти управління логістичного забезпечення розвиваються на основі сучасних технічних досягнень, що забезпечують вирішальний успіх на ринках товарів і послуг, що створюють умови для оптимізації діяльності процесів управління матеріальними потоками при забезпеченні сил оборони держави. В цілому, подібні напрямки розвитку системи логістичного забезпечення сил оборони держави фінансувалися і фінансуються за залишковим принципом, велика частина військового бюджету йде на модернізацію існуючого і закупівлю нового озброєння і військової техніки.

#### *Військово-господарський фактор*

Державна підтримка процесів руху товару завжди мала особливе значення. Використання різних методів державного управління для регулювання цих процесів є важливою умовою розвитку національної економіки. Мається на увазі про розвиток і підтримку

в працездатному стані об'єктів логістичної інфраструктури (перш за все транспортних комунікацій, складських комплексів, системи підготовки фахівців та ін.). При цьому держава одночасно вирішує дві задачі, що мають стратегічне значення, стимулює розвиток економіки, а також підвищує ступінь готовності її до мобілізації в разі виникнення військової загрози і в ході відбиття воєнної агресії.

При формуванні стратегії довгострокового розвитку системи логістичного забезпечення сил оборони держави необхідно брати до уваги не тільки концептуальні погляди на будівництво і застосування збройних сил, але також і той факт, що вдосконалення розглянутої системи не може здійснюватися самостійно та ізольовано. У будь-якому випадку воно повинно бути пов'язане з загальними тенденціями розвитку логістики.

В даний час в цій сфері виділяють п'ять характерних особливостей [5-23].

1. Швидке зростання витрат на перевезення. Традиційні методи розподілу стали дорожчими в зв'язку з ростом товарних цін та інфляцією. Підвищення рівня управління передбачає розгляд суміжних з перевезеннями аспектів логістики (виробництва, постачання продукції, розподіл, фінанси).

2. Досягнення межі ефективності виробництва. Стає все важче досягти істотного зниження виробничих витрат, визначені і апробовані практично всі доступні форми і способи в цій сфері. З іншого боку, логістика залишається областю, де ще зберігаються значні потенційні можливості скорочення витрат.

3. Фундаментальні зміни в підходах з формування запасів.

4. Створення продуктових ліній як прямий результат впровадження концепції маркетингу (надання кожному споживачеві тієї продукції, яка йому необхідна).

5. Комп'ютерні технології.

Логістичне управління пов'язано з обробкою величезного масиву даних. Сама можливість управління передбачає знання:

- місця розташування кожного споживача;
- розміру кожного замовлення;
- місця розташування виробництва, складів і центрів розподілу;
- витрат на перевезення від кожного складу або заводу кожного споживача;
- доступних видів транспорту і запропонованого рівня обслуговування;
- місця розташування постачальників;
- рівня запасів на кожному складі і центрі розподілу.

Відповідно до напрямків розвитку ЗС України на середньострокову і довгострокову перспективу, на основі результатів аналізу досвіду побудови логістичних систем ЗС США, ЗС ФРН, ЗС Франції, Сил оборони Держави Ізраїль, ЗС Туреччини, ЗС РФ та сил оборони держави, основними тенденціями розвитку системи логістичного забезпечення до 2025 р можна вважати наступні:

1) визначення оптимального співвідношення застосування технологій аутсорсингу/інсорсингу.

Зазначене дозволить забезпечити можливість збереження позитивних результатів від залучення сторонніх організацій в інтересах виконання функцій забезпечення, надасть можливість відмовитися від практики аутсорсингу (в окремих випадках) при прийнятті рішення про недоцільність подальшого використання даної інновації.

2) впровадження автоматизованих систем, що забезпечують управління логістикою на всіх рівнях. Це дозволить забезпечити скорочення часу на обробку даних та прийняття рішень, можливість накопичення необхідної статистичної інформації для побудови і застосування моделей прогнозування.

3) реалізація концепції інтегрованої логістичної підтримки озброєння, військової та спеціальної техніки на всьому їхньому життєвому циклі. Зазначене дозволить побудувати єдину систему управління обслуговуванням воєнної продукції, технічного обслуговування і ремонту озброєння та військової техніки в процесі експлуатації що забезпечує необхідний рівень технічної готовності.

4) скорочення строків підвезення продукції військового призначення (матеріальних засобів, що надходять з промисловості для задоволення потреби військових споживачів), усунення надлишкових логістичних операцій. Зазначене дозволить зменшити витрати в системі закупівель і поставок продукції, що виготовлена в інтересах сил оборони держави, скорочення часу надходження матеріальних ресурсів, визначення надлишкових операцій при прийманні та перевезенні продукції, що надходить від виробників.

5) розвиток системи ешелонування запасів матеріальних засобів. Зазначене дозволить створити умови для формування прогресивних форм складської обробки вантажів, зниження втрат матеріальних ресурсів при доставці та зберіганні.

6) забезпечення сучасними технічними засобами логістичного забезпечення, модернізація і розвиток технічних засобів, що стоять на озброєнні.

7) підвищення ефективності взаємодії органів управління системи логістичного забезпечення, відомчих логістичних підрозділів з підприємствами місцевої економічної бази. Це дозволить задовольнити потреби сил оборони держави в продукції, роботах, послугах шляхом селективного використання власних сил і засобів і можливостей місцевої економічної бази при заданих витратах.

8) науково-методичне обґрунтування використання нестандартних підходів для вирішення раптово виникаючих завдань.

Практична реалізація зазначених напрямів розвитку залежить від безлічі чинників. Завдання органів державного і військового управління – забезпечити отримання відповідних ефектів, коригування плануючих документів з урахуванням зміни вектору розвитку системи забезпечення і можливостей національної економіки.

Таким чином, розвиток системи матеріально-технічного забезпечення сил оборони держави являє собою безперервний багатоплановий процес.

В умовах зростаючих вимог до якості вирішення питань забезпечення національної безпеки, кори-



гування планів подальшого розвитку різних вітчизняних галузей (в тому числі - в рамках реалізації політики імпортозаміщення) розглянуті проблемні питання мають важливе державне значення і вимагають не тільки ефективного вирішення на практиці, а й подальшої наукового опрацювання.

Проведемо аналіз умов та факторів, що впливають на якість логістичного забезпечення на стратегічному рівні. Результатами численних досліджень доведено, що в сучасних умовах успіх виконання завдань системою логістики в умовах воєнних конфліктів безпосередньо залежить від повноти обліку впливають на неї факторів (оперативно-тактичних, економічних, фізико-географічних та інших). Серед них [5-23]:

- висока ступінь централізації організації і планування логістики, керівництва діями органів логістики сил оборони держави;
- виконання військових перевезень для потреб сил оборони держави усіма видами транспорту (особливо повітряним і морським) з широким залученням сторонніх організацій і юридичних осіб;
- широке застосування перевезень військ для забезпечення своєчасного і скритного створення і нарощення угруповань військ з використанням різних видів транспорту;
- необхідність своєчасного створення єдиної системи управління логістики з залученням представників усіх силових структур.

У зв'язку з цим актуальною стає проблема розвитку способів логістичного забезпечення для ефективного задоволення потреб сил оборони держави при базуванні в зонах постійної військової присутності. Для її вирішення запропоновано три основні способи логістичного забезпечення:

територіальний, відомчий (видовий) і комплексний [5-23].

При територіальному способі логістичного забезпечення за напрямками дій сил оборони держави створюються угруповання сил і засобів за видами логістичного забезпечення для виконання покладених завдань з забезпечення всіх військових формувань, що діють на відповідному напрямку, незалежно від їх належності і підпорядкованості.

При відомчому способі забезпечення застосовуються розгорнуті в районах базування військ (сил) видів ЗС України і родів військ сили і засоби спеціальних видів логістичного забезпечення.

Даний спосіб реалізує відомчий (видовий) принцип забезпечення озброєнням, військовою технікою та іншими матеріальними засобами спеціальної номенклатури. При комплексному способі забезпечення в пунктах базування військ (сил) розгортаються всі необхідні сили і засоби логістичного забезпечення і створюються можливості для комплексного забезпечення, незалежно від їх належності і підпорядкування.

Очевидно, що крім інших факторів істотний вплив на розвиток способів логістичного забезпечення військ (сил) будуть надавати і перспективи розвитку форм і способів їх застосування в сучасних умовах [1]. Проведений авторами в працях [1] аналіз

останніх воєнних конфліктів останніх десятиліть дозволив сформулювати наступну низку факторів, що впливають на якість функціонування системи логістичного забезпечення сил оборони держави:

- спільні дії частин і підрозділів ЗС України та інших силових структур;
- бойові дії ведуться військовими частинами, що знаходяться за штатам мирного часу;
- складності застосування зразків озброєння та військової техніки в традиційних формах;
- одночасне проведення підрозділами різних видів тактичних дій;
- відсутність лінії зіткнення сторін, наявність великих вільних просторів, наявність місцевого населення, в тому числі і вороже налаштованого;
- ймовірність проведення диверсій і терористичних актів;
- наявність інформаційного протиборства;
- різка зміна обстановки, необхідність створення додаткових запасів;
- фізико-географічні умови місцевості і пори року.

На думку автора, основними проблемними питаннями в організації логістичного забезпечення ЗСУ є наступні:

- відсутність єдиної системи планування підвезення матеріальних засобів та транспортного забезпечення;
- невідповідність термінів готовності військових частин та установ МТЗ термінам готовності бойових військових частин;
- низька ефективність застосування підрозділів охорони тилових частин (установ);
- необхідність перегляду та нормативного визначення обсягів утримання та порядку ешелонування запасів ракет, боєприпасів, пально-мастильних матеріалів, продовольства, речового та іншого військово-технічного майна, враховуючи способи застосування, бойові завдання та перспективну структуру ЗС України.

## Висновки

На основі досліджень перспективних напрямів удосконалення системи логістичного забезпечення сил оборони держави пропонується виділити наступні форми логістичного забезпечення військ (сил) в сучасних умовах:

1. Дії забезпечення - цілеспрямований, узгоджений за цілями, завданнями, місцем і часом комплекс заходів сил і засобів логістичного забезпечення сил оборони держави, що проводяться в рамках сучасних операцій.

2. Систематичні дії забезпечення - різновид діяльності сил і засобів логістичного забезпечення сил оборони держави, що характеризується безперервним рішенням завдань забезпечення протягом тривалого часу проведення операції.

3. Операція забезпечення - цілеспрямовані, узгоджені за цілями, завданнями, місцем і часом, об'єднані єдиним задумом і планом великомасштабні дії з забезпечення, що здійснюються одночасно або послідовно угрупованнями логістичного забезпе-

чення по створенню сприятливих умов для висування, розгортання і застосування сил оборони держави у віддаленому регіоні.

4. Маневр матеріально-технічними ресурсами - цілеспрямоване і узгоджене за завданнями, місцем і часом переміщення різних видів засобів і органів логістики для забезпечення сил оборони держави, накопичення, ешелонування, перерозподілу запасів матеріальних засобів, виведення їх з-під ударів противника. Виходячи з цього, а також з результатів виконаних досліджень встановлено, що для вирішення проблем логістичного забезпечення сил оборони держави в сучасних умовах необхідно:

- створення високотехнологічних роботизованих ланок логістичного забезпечення дій сил оборони держави, організованих за блочно-модульним принципом з гнучкою структурною конфігурацією і здатних діяти з високою ефективністю в будь-яких умовах обстановки на різних операційно-стратегічних напрямках;

- розгортання сил і засобів логістичного забезпечення для забезпечення сил оборони держави на операційних напрямках і їх побудова за мережецентричним принципом, територіально автономних з реалізацією концепції "точкового" тилового і технічного забезпечення сил оборони держави;

- подальший розвиток структурних елементів, впровадження оптимальних алгоритмів роботи посадових осіб органів управління логістики, автоматизації управління, збалансованого документообігу, вдосконалення технічної основи системи управління.

Таким чином, для вирішення проблем в системі логістики необхідно, щоб способи її функціонування в повній мірі відповідали характерному для сучасних умов різноманіттю завдань, форм і способів застосування військ (сил).

Напрямок подальших досліджень слід вважати розробку методики оцінки ефективності функціонування системи логістичного забезпечення сил оборони держави.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Военно-экономический анализ // под ред. С.Ф. Видулова. М.: Воениздат, 2000. С. 31–34.
2. Наставление комитета начальника штабов JP 4-0.
3. Всестороннее обеспечение (ADP 4-0 Sustainment).
4. Полевой устав ВС США FM4-01.30 (FM 55-10).
5. Шкурко Ю.М. Методический аппарат военно-экономического анализа мероприятий строительства вооруженных сил // Военная наука и оборонная политика. 2003. № 2. С. 14–16.
6. Топоров А.В., Бабенков В.И. Обоснование концептуальных подходов к оценке военно-экономической эффективности системы материально-технического обеспечения группировки войск (сил) // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2016. № 9–10 (99–100). С. 110–114.
7. Топоров А.В., Бабенков В.И. Обоснование критериев оценки военно-экономической эффективности процессов материально-технического обеспечения войск (сил) // Известия российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 1 (96). С. 23–28.
8. Топоров А.В., Бабенков В.И. Методологические основы военно-экономической эффективности интегрированной системы материально-технического обеспечения // Известия российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 4 (99). С. 13–22.
9. Топоров А.В., Коновалов В.Б., Бабенков А.В. Обоснование военно-экономической эффективности процесса доставки материальных средств группировке войск (сил) // Известия российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 2 (97). С. 48–51.
10. Бабенков В.И., Башкиров Д.С. Перспективные исследования военно-экономической эффективности материально-технического обеспечения войск // Актуальные проблемы развития современной науки и образования: сборник международной научно-практической конференции. 2017. С. 112–113.
11. Бабенков А.В. Методологические подходы к военно-экономическому обоснованию и оценке параметров логистических процессов в системе материально-технического обеспечения войск // Известия российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. № 1 (91). С. 25–31.
12. Гурьянов А.В., Бабенков В.И. Концептуальные подходы адаптивного управления военно-промышленной безопасностью цепей поставок компонентов оборонно-промышленного комплекса // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы: сб. научн. тр. по материалам международной научно-практической конференции. 2017. С. 94–96.
13. Гурьянов А.В., Бабенков В.И. Военно-промышленная безопасность цепей поставок компонентов оборонно-промышленного комплекса // Электронный научный журнал. 2017. № 7 (22). С. 72–75.
14. Калинин А.Н., Козин М.Н. Обоснование параметров оценки эффективности логистической системы обеспечения частной военной компании // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и Право. 2015. № 11–12. С. 29–33.
15. Лавринов Г.А., Козин М.Н. управление рисками в системе государственного оборонного заказа: Монография. Саратов изд-во Наука., 2010. 255 с.
16. Кивлюк В. С. Погляди на формування та функціонування системи матеріально-технічного забезпечення Збройних Сил України / В. С. Кивлюк // Наука і оборона. — 2006. — № 2. — с. 22–27.
17. Григорьев Ю. П. Методологические основы совершенствования системы материального обеспечения войск в условиях переходных процес сов (логистический подход) : [науч. изд.] / Ю. П. Григорьев. — Спб., 2009. — 70 с.
18. Онофрійчук П. В. Нові підходи до обґрунтування рішень у сфері ресурсного та організаційного забезпечення Збройних Сил / П. В. Онофрійчук // Проблеми Науки. — 2008. — №4. — с. 20–26.
19. Кивлюк В.С. Погляди на формування та функціонування системи матеріально-технічного забезпечення Збройних Сил України / В.С. Кивлюк // Наука і оборона. — 2006.— № 2.— с. 22-27.
20. Романченко І.С. Погляди на розвиток системи матеріально-технічного забезпечення Збройних Сил України / І.С. Романченко, В.О. Шуєнкін // Наука і оборона — 2007.— № 4.— с. 22-27.

21. Гороховський Є. Тил Збройних Сил України: надійність в ім'я боєздатності / Є. Гороховський // Військо України. – 2011. – № 1. – с. 26-29.
22. Харченко В.П. Загальні напрямки розвитку МТЗ / В.П. Харченко // Збірник наукових праць ЦНДІ ЗС України. – 2001. – № 1 (14). – с. 94-99.
23. Задерієнко С.І. Тенденції та перспективи розвитку тилового забезпечення Збройних Сил України [Електронний ресурс] / С.І. Задерієнко. – Режим доступу: <http://tyl.at.ua/news/2011-11-13>.
24. Шульман А. Военная логистика израильской армии [електронний ресурс] / А. Шульман // Военно-промышленный курьер. – 2008. – № 6 (222). – Режим доступу: <http://vpk-news.ru/articles/3846>.
25. Сербіненко Б.А. Материально-технічне забезпечення як основа військової логістики [Електронний ресурс] / Б.А. Сербіненко. Режим доступу: <http://logisticstime.com/news/materialno-texnicheskoe-obespechenie-kak-klyuchevoe-zveno-voennoj-logistiki>.
26. Сумец А.М. Логістика в озброєних силах НАТО і Бундесвера [Електронний ресурс] / А.М. Сумец. Режим доступу: <http://logisticstime.com/news/logistika-v-vooruzhennykh-silax-nato-i-bundesvera>.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. Г. Семенов,  
 Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків  
 Надійшла (received) 02.04.2019  
 Прийнята до друку (accepted for publication) 15.05.2019

### Анализ условий и факторов, влияющие на эффективность функционирования системы логистики сил обороны государства

А. В. Наконечный

Опыт истории войн и военных конфликтов показывает, что в каждой успешно проведенной военной компании, операции, бою, как и в каждой поражении, необходимо, наряду с другими причинами, искать положительные и отрицательные стороны в работе органов материально-технического обеспечения, их организации, возможностях и способах обеспечения. Развитие системы логистического обеспечения всегда осуществлялось параллельно с развитием вооруженных сил и способов ведения войны, операции и боя. Новые виды вооружения, боевой техники, способы ведения боевых действий выдвигали свои требования к системе логистического обеспечения, заставляли производить более современные формы организации системы логистического обеспечения и способы обеспечения. В ходе проведенного автором статьи исследования установлено, что в настоящее время детальный анализ условий и факторов, влияющих на качество функционирования системы логистического обеспечения проведен недостаточно полно. Именно поэтому, автором указанной статьи проведен детальный анализ условий и факторов, влияющих на качество функционирования системы логистического обеспечения. В ходе исследования были подробно рассмотрены системы логистического обеспечения Вооруженных Сил Соединенных Штатов Америки, Вооруженных Сил Российской Федерации, Вооруженных Сил Федеративной республики Германии, Вооруженных Сил Турции, Сил обороны Государства Израиль, Вооруженных Сил Франции и Вооруженных Сил Украины. В процессе проведенного исследования автором использованы как общенаучные, так и специальные методы исследования: семантический - для развития сущностной части дефиниций категориального аппарата военной логистики; методы экономического анализа - для оценки тенденций в военном обеспечении Вооруженных Сил Украины; методы системного анализа - для оценки предпосылок и интеграции целей в процессе формирования военной логистической системы; методы экономико-математического моделирования - для оптимизации структуры и внутренних процессов военной логистической системы. По результатам проведенного анализа автором было определены основные несовершенства системы логистического обеспечения Вооруженных Сил Украины и проведено обоснование путей совершенствования системы логистического обеспечения Вооруженных Сил Украины.

**Ключевые слова:** система логистического обеспечения, силы обороны государства, эффективность, формы и способы.

### Analysis of conditions and factors influencing the efficiency of the system of logistics of the country defense forces

O. Nakonechnyi

The experience of the history of wars and military conflicts shows that in the successful military company, operation, battle, as in the defeat, it is necessary, along with other reasons, to look for positive and negative aspects in the work of the logistics departments, their organization, opportunities and ways of providing. The development of the logistics system has always been carried out in parallel with the development of the armed forces and methods of warfare, operations and combat. New types of weapons, military equipment, methods of conducting military actions put forward their requirements for the logistics system, forced to develop more modern forms of organization of the logistics system and ways of providing. In the course of the research carried out by the author of the article, it was established that at present, a detailed analysis of the conditions and factors influencing the quality of the logistics system operation is not carried out sufficiently. That is why, the author of this article carried out a detailed analysis of the conditions and factors that affect the quality of the logistics system. During the research, the logistic support systems of the Armed Forces of United States of America, the Armed Forces of the Russian Federation, the Armed Forces of the Federal Republic of Germany, the Armed Forces of Turkey, the Defense Forces of the State of Israel, the Armed Forces of France and the Armed Forces of Ukraine were considered in detail. In the course of the research carried out by the author, general scientific and special methods of research were used: semantic - for the development of the essential part of the definitions of categorical apparatus of military logistics; methods of economic analysis - for assessing trends in the military provision of the Armed Forces of Ukraine; methods of system analysis - to assess the preconditions and integrate goals in the process of forming a military logistics system; methods of economic-mathematical modeling - for optimization of the structure and internal processes of the military logistics system. According to the results of the analysis, the author identified the main imperfections of the logistic support system of the Armed Forces of Ukraine and substantiated ways to improve the logistic support system of the Armed Forces of Ukraine.

**Keywords:** logistic support system, state defense forces, efficiency, forms and methods.

А. А. Кочина

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО РОЗТАШУВАННЯ ЗУПИНОЧНИХ ПУНКТІВ В ПРИМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ ДЛЯ МІСТ УКРАЇНИ

**Предметом вивчення** в статті є визначення закономірностей просторового розташування інфраструктури громадського транспорту у приміському сполученні. **Метою дослідження** є підтвердження двовимірного нормального розподілу координат зупиночних пунктів, які розташовані на території міста і його групування щодо центру розсіювання. **Завдання дослідження:** аналіз існуючих підходів у визначенні попиту на пересування в приміському сполученні на підставі закономірностей розселення і просторової самоорганізації населення в передмісті; визначення закономірностей просторових характеристик інфраструктури громадського транспорту у приміському сполученні щодо об'єкта тяжіння, яким є обласний центр; підтвердження двовимірного нормального розподілу на основі експериментальних даних, для міст, які мають особисті характеристики, зокрема кількість жителів, площа території і конфігурація. **Отримані наступні результати:** проаналізовані основні підходи до визначення попиту на пересування на підставі просторового розподілу переміщень в приміському сполученні; обґрунтовано використання просторових характеристик громадського транспорту для визначення закономірностей розподілу переміщень на території міста і його оточення; здійснена перевірка двовимірного нормального розподілу координат зупиночних пунктів, які розташовані на території міста і його оточення щодо центру для міст з різною чисельністю населення. **Висновки.** На підставі теоретичних і експериментальних досліджень доведено доцільність використання просторового розташування пунктів зупинок на території міст і їх оточення, яке обмежено не тільки приміським сполученням а також внутрішньо обласним для міст з різною чисельністю населення. Закономірності просторового розташування зупиночних пунктів можуть бути описані на підставі координат, які мають нормальний розподіл для кожної координати щодо центру розсіювання. Отримані закономірності підтверджують гіпотезу про те, що закономірності, які розглядаються на території міст, мають продовження цих закономірностей і за кордоном міста в приміському сполученні для населених пунктів з різною чисельністю населення.

**Ключові слова:** попит, пересування, громадський транспорт, зупиночний пункт, просторове розташування, координата, нормальний розподіл.

### Вступ

Поїдки в приміському сполученні здійснюються на так званій приміській території, яка обмежує територіально зону дії приміського сполучення і є основним джерелом зв'язку між містом і приміською зоною. При цьому функціональні зв'язки між містом і приміською зоною крім економічних, промислових та інших зв'язків мають безпосередньо транспортні зв'язки до яких відносяться трудові, культурно-побутові, рекреаційні і інші види пересування.

Транспортна система міських агломерацій та їх оточення формується на основі процесів, які є доволі складними та довготривалими, ефективно управління яким повинно базуватись на визначенні потреб населення міста і його оточення в транспортних пересуваннях [1].

На величину потреб в пересуваннях в приміському сполученні впливає безліч факторів, основними з яких є характер і зміст системи розселення та рівень розвитку транспортної інфраструктури. З одного боку їх можливо розглядати як окремі незалежні групи факторів, з іншого боку закономірності розселення визначають наявність транспортної інфраструктури і навпаки розподіл транспортного попиту на території залежить від існуючої інфраструктури громадського транспорту. З іншого боку наявність інфраструктури громадського транспорту є одним із найбільш значних факторів, який харак-

теризує можливість реалізації потреб більшої частини населення в перевезеннях.

Однією з основних характеристик громадського маршрутного транспорту, яка залежить і базується на визначенні місць зародження і закінчення пересування являється просторове розташування зупиночних пунктів (ЗП), яке є основою для виникнення закономірностей просторового розподілу переміщень пасажирів на визначеній території.

Дослідження впливу просторових характеристик розташування об'єктів транспортної пропозиції громадського транспорту на розподіл транспортного попиту на території, що оточує місто, є практично не вивченим. В той же час об'єми руху у приміському сполученні є досить вагомими [1].

**Аналіз публікацій.** Існуючі підходи і методи дослідження закономірностей формування попиту на перевезення в приміському сполученні зазвичай базуються на дослідженні процесів розселення та просторової самоорганізації населення, та щільності транспортних зв'язків.

Аналіз просторового розподілу переміщень сільського населення в роботі [3] базується на припущенні, що кожний населений пункт має свою  $n$  – мірну просторову орієнтацію. Закономірності розселення і визначення параметрів щільності населення на території на підставі досліджень, базуються на тому, що чисельність населення на території дії маршруту, яка обмежена 50 км має показовий розподіл.

Кожен населений пункт згідно [3] характеризується одномірним розподілом інтенсивності зв'язків в середині розглянутого поселення, або іншої елементарної одиниці території. На основі розподілу зв'язків визначається розсіювання початкових і кінцевих пунктів переміщення. Але в подальшому здійснюється об'єднання пунктів в залежності від так званої ієрархічності системи, яка визначається середнім максимальним радіусом обслуговування території, що суттєво знижує точність розрахунків. Також розглянуті закономірності розподілу населення на території основані на розміщенні населеного пункту відносно деякого центру тільки відносно так званої координати  $x$ , яка не визначає повністю характеристику просторового розподілу переміщень.

В роботі [4] встановлений взаємозв'язок між просторовим розташуванням ЗП та законом розподілу довжини перегонів. Згідно [4] показників розподілу довжини перегонів із параметром зсуву є наслідком розподілу фактичної довжини перегону за законом Релею, який є похідним від закономірностей просторових характеристик розташування ЗП.

Характеристикою просторового розташування може служити закон розподілу координат ЗП  $(X, Y)$ , який розглядається в прямокутній системі координат. Згідно [5] в теорії ймовірностей таку систему також називають двомірним вектором та її можливо розглядати як випадкову величину, а розподіл координат ЗП  $(X, Y)$  цьому випадку можна вважати двомірним нормальним.

Визначення потреб міського населення в пересування в роботі [6] засновано на використанні функції розселення загальний вигляд закономірностей, якій для громадського транспорту формується на підставі розташування ЗП на міській території. При цьому розглядається процес виникнення нових об'єктів тяжіння в напрямку від центральної частини до околиць міст, які в свою чергу можуть мати продовження за межею міста.

В роботі [6] було здійснено перевірка придатності розподілу Релея для опису відстаней від «центрального» до усіх ЗП, а також підтвердження двомірної нормальності системи координат  $(X, Y)$  для 10 міст України. Експериментальні дослідження характеристик транспортних мереж, показали що основною причиною існування закономірностей розселення є процеси виникнення нових об'єктів тяжіння в напрямі від центральної частини до околиць міста по мірі його росту

В результаті експериментальних та теоретичних досліджень в роботі [7] було визначено просторове розташування ЗП на території міста Харкова та області з використанням засобів теорії ймовірностей було встановлено, що розподіл координат ЗП на території міста та приміської зони має двомірне нормальний розподіл. Отримані закономірності у розташування ЗП показали доцільність використання просторових характеристик інфраструктури громадського транспорту на території що оточує місто в приміському сполученні для великих міст і зробити припущення що закономірності на території міст можуть розповсюджуватись на приміську зону. Але

існування таких закономірностей для міст які мають не таку велику чисельність населення викликають сумніви і потребують експериментальних досліджень та підтвердження існування закономірностей.

**Мета і постановка задачі.** Можливо припустити, що закономірності територіального розташування інфраструктури громадського транспорту територій, що оточують не тільки великі міста, а міста першої, другої та третьої категорії мають продовженням міських закономірностей. Тому доцільно дослідити характеристики транспортної мережі громадського транспорту, які є похідними від просторового розташування ЗП і визначають закономірності у відстанях пересувань також й у околицях міст з меншою кількістю населення ніж в великих містах. Територію впливу міста на інтенсивність пересувань між ним та іншими населеними пунктами приймається адміністративна територія обласного центру.

Встановлення закономірностей просторового розташування ЗП на території області має проводитися на основі двомірного вектору координат  $(X; Y)$ . Для звичайних умов розташування обласного центру та однорідної місцевості, по аналогії з міською територією [6] логічно припустити, що розкид координат ЗП по території області буде приблизно нормальним.

### Основний матеріал

Просторове розміщення ЗП на певній території можна визначити в прямокутній системі координат  $X$  та  $Y$ . Для підтвердження двомірної нормальності системи  $(X, Y)$  найбільш придатним способом є перевірка лінійної нормальності кожної з окремих координат [6].

Для перевірки відповідності даного розподілу спочатку необхідно визначити координати для кожного ЗП в межах міста і області та координату центральної точки відповідного міста. Характеристики транспортної мережі (ТМ) було отримано для трьох міст України. А саме для міста Львова, який відноситься до міст першої категорії з чисельністю населення приблизно 721 878 постійних мешканців. Місто другої категорії Рівно та оточення з чисельністю населення 256 216 постійних мешканців та міста Луцька, який знаходиться близь державного кордону з чисельністю населення 216 433 мешканців, який відноситься до міст третьої категорії.

Розсіювання ЗП на території відповідних міст та їх оточення в прямокутній системі координат представлена на рис. 1-3.

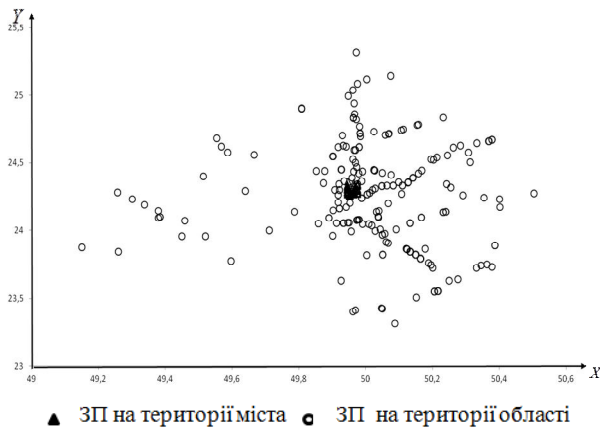
Перевірка придатності одномірного нормального розподілу для опису координати  $X$  та координати  $Y$  окремо виконується після центрування кожної координати:

$$X'_i = X_i - X_u; \quad (1)$$

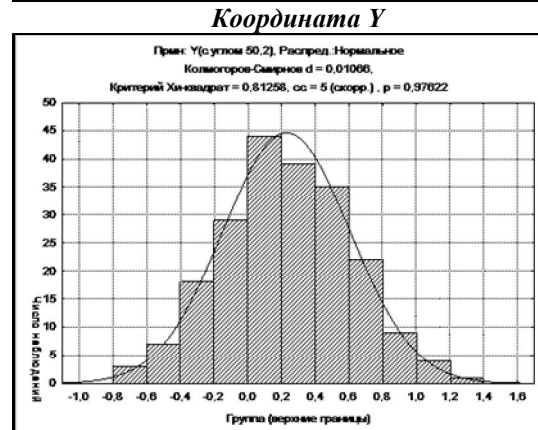
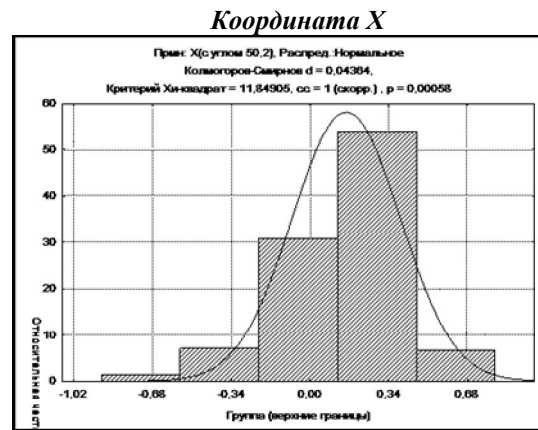
$$Y'_i = Y_i - Y_u, \quad (2)$$

де  $X_i$  – абсциса  $i$ -го ЗП;  $X_u$  – абсциса «центрального» ЗП;  $Y_i$  – ордината  $i$ -го ЗП;  $Y_u$  – ордината «центрального» ЗП.

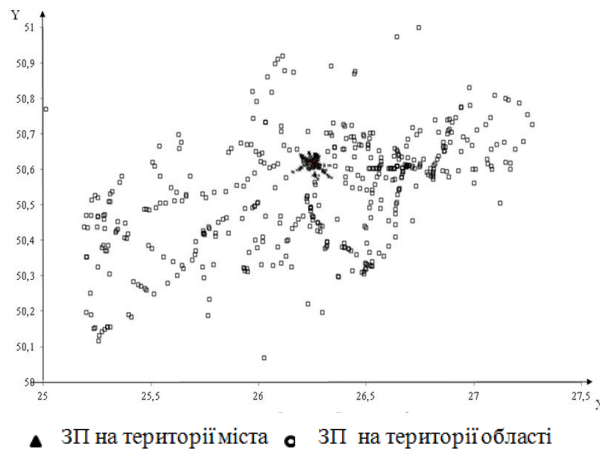




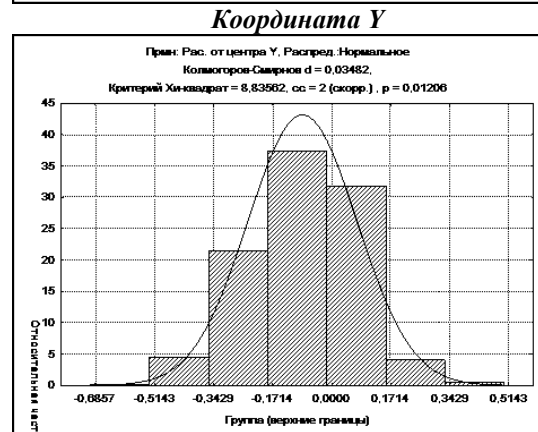
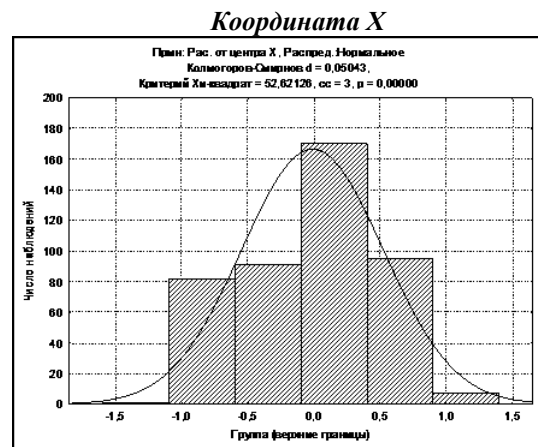
▲ ЗП на території міста ○ ЗП на території області  
**Рис. 1.** Розташування ЗП на території Львова та області



**Рис. 4.** Нормальний розподіл, придатний для опису координат ЗП міста Львів



▲ ЗП на території міста ○ ЗП на території області  
**Рис. 2.** Розташування ЗП на території Рівно та області



**Рис. 5.** Нормальний розподіл, придатний для опису координат ЗП міста Рівно

Щільність одновимірного розподілу для кожної координати визначається залежністю [5]:

$$f(X'_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot \exp\left(-\frac{(X'_i - \mu)^2}{2\sigma^2}\right); \quad (3)$$

$$f(Y'_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \cdot \exp\left(-\frac{(Y'_i - \mu)^2}{2\sigma^2}\right), \quad (4)$$

де  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення, а  $\mu$  – математичне сподівання відповідної координати.

Графік розподілу координат  $X$  та  $Y$  для міст представлений на рис. 4 - 6.

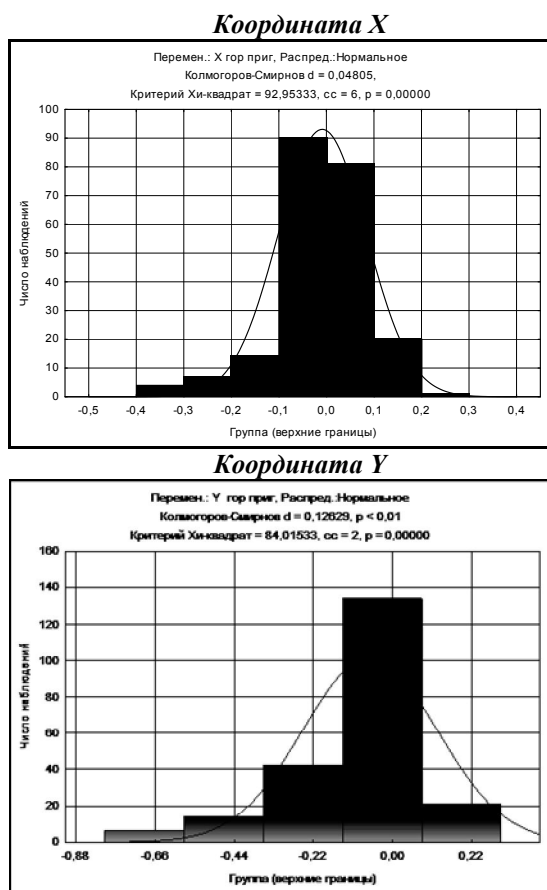


Рис. 6. Нормальний розподіл, придатний для опису координат ЗП міста Луцьк

Придатність одномірного нормального розподілу проводилась за допомогою критерію Колмогорова-Смірнова.

Доцільність використання даного критерію обумовлено [8] в даному випадку те, що він є не параметричним критерієм. Параметри теоретичних розподілів, придатних для опису обох координат ЗП, наведені в табл. 1.

За отриманими даними можна стверджувати, що розподіл координат ЗП для міст, які відносяться до першої, другої та третьої категорії має двомірне нормальний розподіл, окрім координати Y для міста Луцька, так як в одному напрямку відсутнє розсіювання ЗП в напрямку державного кордону.

### Висновки

В результаті теоретичних досліджень було визначено просторове розташування ЗП на території міст та їх оточення, яке обмежено не тільки приміським сполученням а також внутрішньобласним для міст з різною чисельністю населення.

За допомогою використання засобів теорії ймовірностей було встановлено, що розподіл координат ЗП на території міст та області має двомірне нормальний розподіл.

Отримані закономірності у розташування ЗП показали доцільність використання просторових характеристик інфраструктури громадського транспорту на території, що оточує місто в приміському сполученні, які можуть визначати закономірності в відстані пересувань.

Таблиця 1 – Параметри нормального розподілу, придатного для опису координат зупиночних пунктів

Показник	Львів	
	Абсциса	Ордината
Кількість спостережень, од.	611	
Математичне очікування	0,157	0,229
Дисперсія	0,5441E-1	0,143
Кут повороту	50,2	
Показник	Рівно	
	Абсциса	Ордината
Кількість спостережень, од.	446	
Математичне сподівання	-0,012	-0,085
Дисперсія	0,2857	0,0251
Показник	Луцьк	
	Абсциса	Ордината
Кількість спостережень, од.	328	
Математичне сподівання	-0,0087	-
Дисперсія	0,0086	-

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Горбачов П.Ф. Вплив поїздок у приміському сполученні на інтенсивність руху на автомобільних дорогах загального. /П.Ф.Горбачов, А.А. Кочина // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сборник научных трудов. –Х.: Изд-во ХНАДУ, 2016 – Вып. 72. – С. 83-87.
- Методические рекомендации по проектированию автомобильных дорог на подходах к крупным городам: ОДМ 2010. Москва 2010. – 263 с.
- Кристопчук М.Є. Потенціал транспортних послуг приміського сполучення населення. /М.Є. Кристопчук, А.В. Веснін, О.Д. Почужевський // Вісник Криворізького університету. Збірник наукових праць. – Вып. 29, 2011. – С. 142-147.

4. Горбачов П.Ф. Закономірності просторових характеристик маршрутного транспорту міст / П.Ф. Горбачов, П. С. Кабелянц, С.В. Свічинський// Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. –Х.: Изд-во ХНАДУ, 2012. Вып. 30 – С. 118-122.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения : учеб. пособие для ВТУЗов / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – [2-е изд., стер.]. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.
6. Свічинський С.В. Формування функції розселення міського населення для визначення потреб у перевезеннях громадським транспортом: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Свічинський Станіслав Валерійович. – Харків, 2015. – 223 с.
7. Кочина А.А. Закономірності просторових характеристик маршрутного транспорту у внутрішньобласному сполученні. /А.А. Кочина// Научно-технический сборник «Коммунальное хозяйство городов». Серия: Технические науки та архитектура., 2017 – Вып. 139. С. 39-42.
8. Севастьянов Б.А. Курс теории вероятности и математической статистики / Б.А. Севастьянов – М.: Наука, 1982. - 256 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. О. Можасв,

Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків

Received (Надійшла) 25.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

### Исследование пространственного расположения остановочных пунктов в пригородном сообщении для городов Украины

А. А. Кочина

**Предметом** изучения в статье является определение закономерностей пространственного расположения инфраструктуры общественного транспорта в пригородном сообщении. **Целью** исследования является подтверждение двумерно нормального распределения координат остановочных пунктов, которые расположены на территории города и его окружения относительно центра рассеивания. **Задачи исследования:** анализ существующих подходов в определении спроса на передвижения в пригородном сообщении на основании закономерностей расселения и пространственной самоорганизации населения в пригородном сообщении; определение закономерностей пространственных характеристик инфраструктуры общественного транспорта в пригородном сообщении относительно объекта тяготения, которым является областной центр; подтверждение двумерно нормального распределения на основе экспериментальных данных, для городов, которые имеют различные характеристики, в частности количество жителей, площадь территории и конфигурацию. **Получены следующие результаты:** проанализированы основные подходы к определению спроса на передвижения на основании пространственного распределения перемещений в пригородном сообщении; обосновано использование пространственных характеристик общественного транспорта для определения закономерностей пространственного распределения перемещений на территории города и его окружения; осуществлена проверка двумерно нормального распределения координат остановочных пунктов, которые расположены на территории города и его окружения относительно центра для городов с разной численностью населения. **Выводы.** На основании теоретических и экспериментальных исследований доказано целесообразность использования пространственное расположение остановочных пунктов на территории городов и их окружения, которое ограничено не только пригородным сообщением, а также внутриобластных для городов с разной численностью населения. Закономерности пространственного расположения остановочных пунктов могут быть описаны на основании координат, которые имеют нормальное распределение для каждой координаты относительно центра рассеивания. Полученные закономерности подтверждают гипотезу о том, что закономерности, которые рассматриваются на территории городов имеют продолжение этих закономерностей и за границей города в пригородном сообщении. для населенных пунктов с разной численностью населения.

**Ключевые слова:** спрос, передвижение, общественный транспорт, остановочный пункт, пространственное расположение, координата, нормальное распределение.

### Study of spatial location stopping points in a suburban message for cities of Ukraine

A. Kochina

**The study** in the article is to determining the spatial distribution of the public transport infrastructure in the suburban traffic. **The aim of the study** is to confirm the two-dimensional normal distribution of the coordinates of stopping points located on the territory of the city and its environment relative to the center of dispersion. **Research problems:** analysis of existing approaches in determining the demand for movement in the suburban communication based on the patterns of settlement and spatial self-organization of the population in the suburban communication; determination of the regularities of the spatial characteristics of the public transport infrastructure in the suburban communication regarding the object of the venue, which is the regional center; confirmation of a two-dimensional normal distribution based on experimental data for cities that have different characteristics, in particular, the number of inhabitants, the area of the territory and the configuration. **The following results are received:** analyzed the main approaches to determining the demand for movement on the basis of the spatial distribution of movements in the suburban traffic; justified the use of the spatial characteristics of public transport to determine the laws of the spatial distribution of movements in the city and its environment; An inspection of a two-dimensionally normal distribution of coordinates of stopping points, which are located on the territory of the city and its surroundings relative to the center for cities with different population. **Conclusions.** On the basis of theoretical and experimental studies, it has been proven that the spatial location of the stop points in the cities and their environment is limited, which is limited not only by suburban communication but also by intraregional for cities with different populations. The regularities of the spatial location of the stopping points can be described on the basis of coordinates, which have a normal distribution for each coordinate relative to the center of dispersion. The obtained regularities confirm the hypothesis that the regularities that are considered on the territory of cities have a continuation of these regularities also abroad in the suburban area. for populated areas with different populations.

**Keywords:** demand, movement, public transport, stopping point, spatial location, coordinate, normal distribution.

Є. В. Любий<sup>1</sup>, В. М. Чижик<sup>1</sup>, С. В. Ковбан<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

<sup>2</sup> Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ НА АВТОБУСНОМУ МАРШРУТІ №240 МІСТА ОДЕСИ

**Предметом вивчення** в статті є якість транспортного обслуговування пасажирів на автобусному маршруті №240 в місті Одесі. **Метою дослідження** є проведення оцінки якості транспортного обслуговування пасажирів на автобусному маршруті №240 в місті Одесі, основною вихідною базою якої є результати натурних спостережень за роботою автобусів на маршруті, і вибір заходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування маршруту. **Завдання дослідження:** аналіз існуючих підходів оцінки якості транспортного обслуговування пасажирів громадським транспортом; вибір і обґрунтування підходів вивчення попиту на пересування пасажирів громадським транспортом; розробка методики проведення натурних обстежень роботи автобусів на маршруті; визначення обраних параметрів якості транспортного обслуговування пасажирів; розробка заходів щодо підвищення якості транспортного обслуговування пасажирів на маршруті №240. **Отримані наступні результати:** проаналізовані основні підходи оцінки якості транспортного обслуговування пасажирів громадським транспортом, а також нормативно-правову базу в цій сфері; розроблена методика і наведені результати натурних обстежень роботи автобусів на маршруті; розраховані основні параметри якості транспортного обслуговування пасажирів на маршруті (середня дальність поїздки, коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоків, коефіцієнт динамічного використання місткості автобуса, коефіцієнт змінюваності, транспортну роботу, регулярність руху, час очікування), на підставі яких запропоновано заходи щодо підвищення ефективності роботи маршруту. **Висновки.** Розроблена методика проведення натурних обстежень якості обслуговування пасажирів дає можливість отримати вихідні дані для подальшого визначення і розрахунку параметрів якості обслуговування на маршруті: регулярність руху автобусів, ступінь використання місткості транспортного засобу, середня дальність поїздки пасажирів, коефіцієнт змінності, коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоків, час очікування на зупиночному пункті. Для підвищення якості обслуговування пасажирів на маршруті пропонується зменшити інтервал руху автобусів до 9 хв., що призведе до необхідності придбання двох додаткових автобусів місткістю 50-60 пас.

**Ключові слова:** громадський транспорт, маршрут, натурні спостереження, пасажиропотік, якість транспортного обслуговування.

### Вступ

Одним із основних факторів, що характеризують діяльність будь-якої фірми, є якість її продукції чи послуг. На ринку транспортних послуг спостерігається тенденція постійно зростаючих вимог з боку споживачів до більш високого рівня якості. Тому, щоб досягти стійкого функціонування економіки країни необхідно постійно підвищувати якість наданих послуг.

Процес виробництва і споживання транспортної послуги співпадає в часі та просторі. Продукція транспорту виготовляється та споживаються одночасно. Тому індивідуальні витрати транспорту на конкретному напрямі можуть розглядатись як суспільно-необхідні витрати праці на транспортування продукції за суспільно-нормативних умов виробництва. Виробничі відносини конкретизуються в середині міжгалузевого комплексу з виробництва та надання споживачеві кінцевого продукту – перевезення. Таким чином, якість виражає кінцевий результат діяльності такого комплексу, і кінцева якість залежна від роботи на кожному етапі транспортного виробництва [1].

До основних факторів якості перевезення пасажирів відноситься: комфортність поїздки (наповнення транспортних засобів (ТЗ) та регулярність їх руху на маршрутах), час на пересування пасажирів, безпека перевезень. Умови, що визначають ці фактори, наступні: щільність маршрутної мережі, частота та точність руху міського транспорту, швидкість сполу-

чення, стан інформації та реклами про роботу пасажирського транспорту, інформування пасажирів про маршрут та інтервал рух ТЗ, гігієнічний та естетичний стан ТЗ, облаштування та оформлення зупиночного пункту та кваліфікація персоналу.

Оцінка якості пасажирських перевезень проводиться для того, щоб можна було визначити та здійснити уточнення вимог щодо якості перевезень на основі систематичного вивчення росту вимог до якості, розробити організаційно-технічні заходи щодо удосконалення транспортного виробництва з метою досягнення установлених нормативів якості, забезпечити отримання оперативної інформації щодо ефективності та якості транспортного обслуговування, а також аналіз цієї інформації для виявлення відхилень від нормативів та усунення причин, які їх викликають та ін.

Розглядаючи концепцію розвитку міського транспорту, в першу чергу, можна виділити проблему якості обслуговування пасажирів. Для того щоб громадський транспорт використовувався частіше і якісніше, він повинен не втратити свої головні переваги: швидкість, комфорт, доступність. У цьому полягає суть проблеми якості обслуговування пасажирів міським транспортом. Слід також розуміти, що одним з основних завдань організації руху міського транспорту є забезпечення найбільш високої якості пасажирських перевезень при мінімальній собівартості перевезення. Підвищення якісних показників транспортного обслуговування призводить до зростання собівартості пасажирських перевезень. Тому вимога максимізації якісних показників пасажирсь-

ких перевезень і мінімізації їх собівартості суперечать один одному. Якщо до того ж врахувати нерегульовані випадкові коливання пасажиропотоків у часі і по довжині транспортної мережі, неминучі затримки руху маршрутного пасажирського транспорту при роботі в загальному потоці вуличного руху, то можна зазначити, що складання оптимального плану руху являє собою досить складну задачу.

### Сучасні умови контролю та нормування якості перевезення пасажирів

Діяльність з надання пасажирських автотранспортних послуг в Україні регламентується законодавчою та нормативною базами [2-7].

Закон України «Про дорожній рух» [4] визначає правові й соціальні основи дорожнього руху з метою захисту життя та здоров'я громадян, а також регламентує безпечні й комфортні умови для учасників руху. Закон України «Про автомобільний транспорт» [2] визначає принципи організації та експлуатації автомобільного транспорту. У даному законі йдеться про необхідність забезпечення надання доступних послуг на достатньому рівні якості, забезпечення виконання вимог щодо технічного обслуговування і ремонту ТЗ. У постанові [3] визначається порядок здійснення міських, приміських, міжміських і міжнародних перевезень пасажирів, багажу, ручної поклажі й посилок, перевезень організованих груп дітей і туристів, обслуговування громадян на автостанціях і автовокзалах. У [5-7] представлено основні положення щодо технічного обслуговування, ремонту автомобільних ТЗ, робочого часу водіїв, положення щодо їх медичного огляду. Національний стандарт [7] установлює експлуатаційні вимоги й методи контролю технічного стану ТЗ.

Підвищення якості та конкурентоспроможності товарів (процесів, робіт, послуг) можливе тільки на основі стандартизації. Вона дозволяє регламентувати вимоги до якості продукції, більш ефективно вирішувати проблеми спеціалізації, визначити раціональні способи виробництва продукції і переробки сировини, здійснювати управління якістю товарів у виробництві та сфері обігу [8].

Відповідно до стандарту (ДСТУ ISO 9000-2001) якість – це міра, в якій сукупність власних характеристик задовольняє вимоги.

Серія стандартів ISO 9000 включає кілька стандартів систем забезпечення якості. Дані стандарти розробляються Міжнародною Організацією зі Стандартизації (ISO) і мають той самий зміст, що і відповідні європейські стандарти (EN), а також національні стандарти в ряді країн. Серію стандартів ISO 9000 складають моделі або керівні вказівки. Всі ці документи називаються стандартами, незважаючи на те, що деякі з них є посібниками чи збірниками рекомендацій. Серія стандартів ISO 9000 являє собою узагальнення національних і міжнародних стандартів з системи якості. Стандарти ISO 9000 визнані практично у всьому світі і прийняті в якості національних стандартів більш ніж в 70 країнах. Ці стандарти дуже популярні в країнах, які проводять активну міжнародну торгівлю, таких як США, Ка-

нада і Японія, а також в країнах ЄС. Першим стандартом систем якості був американський стандарт US Mil Spec (Mil-Q-9 858), опублікований в 1959 році. Розроблені з того часу різні стандарти систем якості мають багато спільних властивостей.

Нова редакція стандартів серії ISO 9000 зазнала суттєвих змін і заснована на концепції бізнес-процесів, а також включає в себе деякі нові області – процес безперервного вдосконалення, оцінку задоволеності замовника випущеною продукцією або наданими послугами, менеджмент ресурсів. Стандарт ISO 9000:2001 визначає систему якості як «сукупність організаційної структури, процедур, процесів і ресурсів, необхідних для здійснення адміністративного управління якістю».

15 листопада 2008 року Міжнародною Організацією зі Стандартизації опублікована нова версія міжнародного стандарту ISO 9001. ISO 9001:2008 замінює стандарт ISO 9001:2000, застосовуваний як до комерційних, так і до громадських організацій в 170 країнах. У новій версії стандарту: не міститься нових вимог; додані роз'яснення до існуючих вимог; зміни носять головним чином редакційний характер; внесено кілька змін, спрямованих на підвищення сумісності з ISO 14001:2004. Описані в цьому стандарті вимоги до систем менеджменту якості доповнюють вимоги до продукції. Цей стандарт використовується самою організацією або зовнішньою стороною (споживачами, органами з сертифікації) для регламентації власних вимог організації і оцінювання її здатності задовольняти потреби споживача.

В свою чергу, сертифікація послуг автомобільного транспорту проводиться відповідно до «Переліку продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в Україні», затверджених наказом Держспоживстандартом України від 01.02.2005 р. № 28 [9], а також «Правил обов'язкової сертифікації послуг автомобільного транспорту», затверджених наказом Державного комітету України по стандартизації, метрології та сертифікації та Міністерством транспорту України від 19.03.99 р. № 119/156 [10].

Правила сертифікації послуг автомобільного транспорту встановлюють порядок і вимоги щодо проведення сертифікації послуг автомобільного транспорту в Українській державній системі сертифікації продукції, процесів та послуг – Системі сертифікації УкрСЕПРО. Правила є обов'язковими для органів із сертифікації послуг автомобільного транспорту (ОС), а також підприємств, установ, організацій та громадян – суб'єктів господарювання, які надають послуги автомобільного транспорту, незалежно від форм власності [10].

Сертифікацію послуг автотранспорту у Системі УкрСЕПРО проводять ОС, що акредитовані в установленому законом порядку. Організаційно-методичним є Державний автотранспортний науководослідний і проектний інститут (Державтотранс-НДІпроект). Сертифікація послуг проводиться на їх відповідність вимогам нормативних документів щодо безпеки життя, здоров'я людей, захисту їх майна та охорони довкілля. Порядок сертифікації послуг автомобільного транспорту передбачає:



- подачу заявки на сертифікацію та документів до неї;
- розгляд заявки та документів;
- прийняття рішення за заявкою на проведення сертифікації послуг;
- укладення договору на проведення сертифікації;
- обстеження виробництва перевізника;
- перевірку (випробування) дорожніх ТЗ на відповідність вимогам певного виду послуг;
- видачу сертифіката відповідності;
- технічний нагляд за наданням послуг.

Перевізник може одержати сертифікат відповідності на послуги лише за наявності в нього умов для забезпечення вимог нормативних документів, на відповідність яким проводиться сертифікація, а саме:

- забезпечення нормативною і технічною документацією, що встановлює вимоги щодо безпеки перевезення пасажирів;
- забезпечення належними ТЗ відповідного технічного стану;
- забезпечення медичного контролю та інструктажу водіїв;
- належного кваліфікаційного рівня з питань безпеки перевезень перевізників, водіїв та осіб, діяльність яких пов'язана з наданням транспортних послуг.

Оцінка перевізника щодо надання послуг проводиться згідно з вимогами Правил надання послуг пасажирського автомобільного транспорту. Установлюються відповідність фактичного стану надання послуг вимогам нормативної документації та можливість перевізника надавати послуги у відповідності з її вимогами. За результатами оцінки перевізника щодо надання послуг визначаються періодичність та обсяг проведення технічного нагляду за наданням сертифікованих послуг. Слід також зазначити, що якість послуг як продукту діяльності підприємства, є та, що лише становить якість усього підприємства. Послуги є реалізацією його виробничої функції. Окрім неї у підприємства існують інші функції, які забезпечують нормальну роботу підприємства, такі як комерційна, адміністративна, постачання, облік, безпека, фінанси, управління ресурсами тощо. Підприємство працює якісно, якщо забезпечується якість реалізації всіх функцій підприємства.

### Аналіз публікацій

Показники якості транспортних послуг залежно від методу їх визначення можна розділити на дві групи – розрахункові та експертні показники [11].

До групи розрахункових показників належать показники якості, які можна оцінити кількісно (наприклад, термін виконання послуги).

В свою чергу, до експертних показників належать більшість показників якості (культура обслуговування, інформативність та ін.), що не піддаються кількісній оцінці. Їх можна оцінити тільки експертним шляхом. Порівняння розрахункових показників зробити легше, ніж експертних показників, оскільки оцінити їх можна тільки експертним методом. Водночас багато якісних характеристик, суб'єктивно

оцінених клієнтами, можуть бути піддані кількісному виміру самою транспортною організацією за наявності розробленої методики їх оцінки.

Якість обслуговування на транспорті оцінюється за такими параметрами [12]:

- якістю основної послуги (перевезення, логістика, оренда);
- якістю подальшого обслуговуванням;
- інформаційним обслуговуванням;
- дотриманням графіку перевезень;
- компетентністю і професіоналізмом персоналу.

Якість пасажирських перевезень можна оцінити по відношенню накладних витрат часу (сума часу підходу пасажира до зупиночного пункту, часу очікування посадки та часу проходження від зупиночного пункту до мети поїздки) до часу поїздки, а також сумі часу очікування посадки та часу поїздки. Можливість економії часу закладено в скороченні цих елементів, особливо часу очікування посадки. Сума часу підходу до зупиночного пункту і очікування дає оцінку раціональності і точності руху транспорту. В цьому випадку для підвищення якості є два шляхи: перший – зменшення часу підходу шляхом розвитку мережі і другий – знизити час очікування за рахунок збільшення інтенсивності (скорочення інтервалу руху ТЗ) [13].

Реалізація функцій управління забезпечує контролювання, регулювання та координацію роботи рухомого складу при виконанні планів перевезень пасажирів в умовах численних зовнішніх і внутрішніх факторів нестійкості.

Особлива роль в ефективній роботі міського пасажирського транспорту належить управлінню технологічними процесами. Для ефективного функціонування ринку транспортних послуг першочергове значення має повна інформація про попит на них, тобто про транспортні потреби жителів міста. Єдиним джерелом інформації, який характеризує параметри транспортного попиту та умови його задоволення в існуючій транспортній системі, є методи дослідження пасажиропотоків [14].

Методи дослідження класифікуються за рядом ознак [14]:

- за тривалістю охоплюваного періоду: систематичні (щодня, щотижня і т.д.), разові (короткочасні).
- по ширині охоплення: суцільні (одночасно по всій транспортній мережі котрій обслуговується району) в середньому 1 раз на 3 роки; вибіркові (по окремих районах руху) 1 раз в квартал.
- по виду:
  - а) анкетний метод (шляхом заповнення попередньо розроблених спеціальних опитувальних анкет);
  - б) звітно-статистичний метод ґрунтується на квитково-облікових листах і кількості проданих квитках;
  - в) талонний метод (шляхом видачі обліковцям спеціально заготовлених талонів різних кольорів);
  - г) табличний метод (проводиться обліковцями розташованими всередині автобуса біля кожних дверей, шляхом заповнення заздалегідь заготовлених таблиць);

д) візуальний або окомірний метод (проводиться візуально за бальною системою від 1 до 6 балів), їм можуть користуватися водії чи кондуктора;

е) силуетний метод – різновид візуального (за 5-ти бальною системою, шляхом набору силуетів за типами автобусів);

ж) опитувальний метод – шляхом опитування обліковцем в салоні пасажирів, цей метод дозволяє визначити дані про кореспонденцію пасажирів;

к) автоматизований метод – підрахунок пасажирів виконується за допомогою спеціальних приладів.

Також для оцінки якості використовуються засоби порівняння фактичного значення показника з нормативним [15]. Далі виявляються розбіжності даних значень і встановлюються причини останнього. В основі процедури оцінки якості обслуговування пасажирів закладений комплексний підхід, який носить рекомендаційний, декларативний характер, тому якість важко виміряти. У зв'язку з цим при визначенні процедур комплексного підходу рекомендується виділити наступні показники якості транспортного обслуговування пасажирів: доступність (щільність маршрутної мережі, рівень інформаційного забезпечення пасажирів, стабільність тарифів); результативність (рівень транспортної втоми, час на пересування); надійність (регулярність руху, кількість відмов у посадці, безпека); зручність (коефіцієнт заповнення салону ТЗ, комфортабельність) [15].

Нормативом показника якості є значення показника, що відповідає межі різних оцінок якості. Нормативи слід розділити на граничні і шкальні. Граничні нормативи показників якості розмежовують об'єкти на два типи за принципом «придатний-непридатний». Шкальні нормативи показників якості встановлюють значення показників, які відповідають різним оцінками (за принципом бальної оцінки: незадовільно, задовільно, добре, відмінно і т. ін.). Загальні вимоги до показників якості виражаються таким чином, щоб відобразити реальні інтереси пасажирів і суспільства [16].

Оцінку якості транспортних послуг компанії, дану клієнтом, багато фахівців називають єдиною посправжньому об'єктивною. Адже компанія працює саме для споживача кінцевої послуги. А тому саме клієнт виносить остаточний вердикт про якість обслуговування на транспорті. До чинників, що визначають якість послуги очима клієнта, належать такі: виконання роботи відповідно до вимог нормативних документів; міра доступності послуги; репутація підприємства; інформація про продукт і фірму; надійність; безпека; компетентність персоналу; можливість і рівень спілкування; реакція і поведінка персоналу; зовнішній вигляд підприємства, устаткування, співробітників тощо [14, 17]. Суб'єктивізм клієнта проявляється в тому, що на сприйняття їм якості обслуговування впливають такі чинники, як чутка про підприємство з надання послуг, попередній досвід клієнта, його потреби, реклама. Тому різні клієнти можуть мати не однакову думку про якість обслуговування певної фірми. Позитивне враження від обслуговування у клієнта залишається в разі, якщо він отримав не

менше того, на що розраховував. Для поліпшення транспортного обслуговування інформація про якість транспортних послуг, отримана на підставі накопиченого досвіду і побажань клієнтів, повинна ретельно вивчатися і аналізуватися.

Підвищення якості пасажирських перевезень у системі міського пасажирського транспорту – одне з найважливіших напрямків, поставлених перед потребами суспільства у галузі транспорту. Нині оцінку якості транспортних послуг ототожнюють з оцінкою рівня транспортного обслуговування пасажирів.

### Мета і постановка задачі

Результати аналізу практичних і наукових літературних джерел свідчать про наявність достатньо великої кількості підходів щодо оцінки якості обслуговування пасажирів, більшість з яких ґрунтується на отриманні достовірної, об'єктивної інформації про рух ТЗ на маршруті (натурні обстеження пасажиропотоків). В результаті реалізації яких існує можливість встановити рівень якості транспортних послуг. Так, використання табличного методу обстеження пасажиропотоків дозволяє отримати інформацію про кількість перевезених пасажирів, пасажирооборот зупиночних пунктів, напрямки і потужність пасажиропотоків, ступень використання місткості ТЗ. В свою чергу, використання візуального методу обстеження пасажиропотоків дає можливість оперативно визначити ступень заповнення рухомого складу і потужність пасажиропотоку на найбільш навантажених ділянках маршруту по годинах доби в певні дні тижня.

Отже, метою даної роботи є проведення оцінки якості транспортного обслуговування пасажирів на маршруті №240 м. Одеси на основі результатів натурних спостережень за роботою ТЗ та розробка практичних рекомендацій щодо підвищення якості роботи автобусів на маршруті.

### Характеристика маршруту

Для задоволення потреб населення м. Одеси в пасажирських перевезеннях у місті створено мережу автобусних, трамвайних і тролейбусних маршрутів. Загальна довжина маршрутної мережі міста складає 3457,4 км. Щільність автобусної мережі складає 6,3 км<sup>2</sup>. До маршрутної мережі міста входять 117 маршрутів, у тому числі: 20 трамвайних, 11 тролейбусних і 86 автобусних маршрутів. На всіх маршрутах електротранспорту, а також на 38 автобусних маршрутах транспорт працює у звичайному режимі руху. Транспорт, що працює у звичайному режимі руху, здійснює перевезення пільгових категорій пасажирів у повному обсязі. На 67 автобусних маршрутах транспорт працює в режимі маршрутного таксі, що перевозять пільгові категорії пасажирів за скороченим переліком [18].

Міський автобусний маршрут загального користування № 240 «вул. Паустовського – вул. Преображенська» (рис. 1) сполучає Суворовський та Приморський райони м. Одеси. Суворовський район поєднує в собі житловий масив «Котовського», рекреаційні та великі промислові зони, коли Приморський район є історичним центром міста, де сконцент-

рованы масштабний житловий масив із багатоповерховою забудовою, культурно-громадські та адміністративні центри, науково-освітня сфера та портово-промисловий комплекс. Також маршрут поєднує дві великі залізничні станції – «Одеса-Східна» та «Одеса-Головна», що є великими пасажироутворюючими та пасажиропоглинаючими пунктами.

Маршрут починається з вулиці Паустовського, де розташований ринок Північний, а завершується на вулиці Преображенська, яка межує з ринком Привоз, що є великим продовольчим ринком у межах історичного центру міста, та Привокзальною площею. Автобусний маршрут проходить крізь декілька закладів вищої освіти.



Рис. 1. Схема маршруту № 240 «вул. Паустовського – вул. Преображенська»

Автобусний маршрут № 240 є радіальним, маючи характер маршруту. Згідно з паспортом маршруту у звичайному режимі руху починає працювати на маршруті з 06:00 (від вул. Паустовського) до 22:00 (на вул. Паустовського). У режимі маршрутної таксі, робота на маршруті починається о 05:20 (від вул. Паустовського), а завершується о 24:00 (на вул. Паустовського). Перевезення здійснюються постійно та щоденно. Розклад руху не змінюється від дня тижня.

Перевезення пасажирів на маршруті № 240 здійснюється приватним акціонерним товариством «Північтранс». Зараз ПАТ «Північтранс» працює в м. Одесі та Одеській області, м. Ізмаїл, м. Кривий Ріг, м. Дніпрі, Київській та Житомирській областях. Підприємство обслуговує 93 міських, 78 приміських та 40 міжміських маршрутів.

На маршруті № 240 «вул. Паустовського – вул. Преображенська» працюють міські автобуси марки А079.52-10 Бориспільського автомобільного заводу.

Згідно з паспортом маршруту, довжина маршруту у прямому напрямку становить – 19,6 км, у зворотному – 20,4 км. Тривалість рейсу у звичайному режимі руху становить в прямому напрямку 56 хв, у зворотному – 57 хв. Тривалість рейсу у режимі руху маршрутної таксі становить 50 хв. у прямому напрямку, та 55 хв. у зворотному. Диспетчерські та контрольні пункти знаходяться на обох кінцевих пунктах маршруту. Також, на вул. Паустовського наявний майданчик для розвороту автобусу. Під час руху, на маршруті зустрічаються такі небезпечні ділянки:

– залізничні переїзди, що не охороняються – на вул. Чорноморського козацтва та вул. Отамана Головатого (Суворівський район);

– перетинання з трамвайними коліями – вул. Паустовського, Молода Гвардія, 7-а Пересипська, Пересипський міст (Суворівський район) та на вул. Тираспольській, Малій Арнаутській, Преображенський, спуску Марінеско (Приморський район). Також, по вул. Старопортофранківській трамвайні колії розташовані посередині проїзної частини.

Від вул. Преображенської і до зупинки Молода гвардія, автобусний маршрут № 240 дублюється маршрутом № 250 «ринок Привоз – вул. Жоліо-Кюрі», який об'їжджає житловий масив «Котовський» вулицею Семена Палія.

### Основний матеріал

Для проведення оцінки якості транспортного обслуговування пасажирів на маршруті № 240 «вул. Паустовського – вул. Преображенська» в період з 22.10.18 по 28.10.18 включно було проведено обстеження пасажиропотоків візуальним і табличним методами. Для проведення обстеження візуальним методом на маршруті було обрано 3 зупиночних пункти у прямому та зворотному напрямках: зупинка «Академіка Заболотного», «7-а Пересипська» та «Торгова». Обстеження проводились протягом 1 години у трьох часових проміжках в прямому та зворотному напрямках руху: ранок – 7:00 – 8:00; день – 14:00 – 15:00 та вечір – 17:00 – 18:00.

Результати свідчать, що найбільша ступінь заповнення салону автобуса у ранковий період в прямому напрямку буднів відповідає 5 і 6 балам – у салоні тісно, просвітів майже немає, або ж салон переповнений, посадка пасажирів неможлива. Це зумовлено тим, що велика кількість пасажирів прямують зі спального району до місць навчання та роботи. Близьче до кінця маршруту ступінь заповнення знижується до 4-2 балів – місця для сидіння зайняті, іноді в проходах можуть стояти пасажирів, але прохід залишається вільним. Заповнення салону в зворотному напрямку становить від 3 до 1 балу.

Найбільша ступінь заповнення салону у денний період спостерігається у зворотному напрямку будніх днів і відповідає 6-4 балам. Більшість пасажирів у цей період є студенти ЗВО та коледжів, які повертаються з навчання до спального району. Близьче до кінця маршруту ступінь заповнення знижується до 3-2 балів – стоячих пасажирів майже немає. Наповнення салону у прямому напрямку становить 3-2 бали, іноді в салоні є стоячі пасажирів, що відповідає оцінці у 4 бали.

Найбільша ступінь заповнення у вечірній період спостерігається у зворотному напрямку будніх днів і відповідає 6-4 балам. Салон автобуса заповнений переважно пасажирів, що повертаються зі своїх робочих місць до спального району міста. Близьче до кінця маршруту, ступінь заповнення знижується до 3-2 балів. Наповнення салону в прямому напрямку становить 3-2 бали. На деяких ділянках маршруту ступінь заповнення салону знижується до 1 бала. У вихідні дні ступінь заповнення салону автобуса відповідає 3-1 балам та розподіляється рівномірно між прямим і зворотним напрямками руху.

На основі бальної оцінки результатів обстеження пасажиропотоку візуальним методом встановлені значення коефіцієнту статичного використання місткості автобуса. У будні дні ранкового періоду в прямому напрямку на зупиночних пунктах «Ак. Заболотного» та «7-а Пересипська» його значення коливається в межах 1,1-0,9, що свідчить про те, що салон заповнений повністю, при значенні 1,1 посадка пасажирів неможлива, на зупиночних пунктах спостерігаються відмови пасажирів у посадці. На зупинці «Торгова» наповнення салону поступово спадає, значення коефіцієнту статичного використання місткості автобуса знижується до 0,4. У зворотному напрямку будніх днів значення коефіцієнту статичного використання місткості автобуса не перевищує 0,5.

У вихідні дні наповнення салону на зупиночних пунктах розподіляється рівномірно, на зупинках «Ак. Заболотного» та «7-а Пересипська» варіюється від 0,4 до 0,7, на зупинці «Торгова» – від 0,2 до 0,4.

У будні дні денного періоду на зупиночному пункті «Ак. Заболотного» заповнення салону розподіляється рівномірно у всіх напрямках руху, а значення статичного коефіцієнту використання місткості автобуса змінюється від 0,2 до 0,5. На зупинках «7-а Пересипська» та «Торгова» у прямому напрямку руху значення коефіцієнту статичного використання місткості автобуса становить 0,4-0,7, а в зворотному напрямку – 0,7-0,9, іноді

досягає 1,1. Спостерігаються відмови у посадці пасажирів на зупинці «Торгова».

У вихідні дні наповнення салону на зупиночних пунктах розподіляється так: у суботу, в прямому напрямку руху коефіцієнт статичного використання місткості автобусу варіюється від 0,5 до 0,7 на усіх досліджуваних пунктах, у зворотному напрямку коефіцієнт змінюється від 0,2 до 0,5; у неділю в прямому та зворотному напрямках руху значення коефіцієнту наповнення розподіляється рівномірно між напрямками руху та становить від 0,2 до 0,5.

У будні дні вечірнього періоду у прямому напрямку ступінь заповнення автобуса варіюється в межах від 0,2 до 0,4. На зупиночному пункті «7-а Пересипська» значення коефіцієнту статичного використання місткості автобусу іноді сягає 0,5. У зворотному напрямку на зупинках «Торгова» та «7-а Пересипська» значення коефіцієнту статичного використання місткості автобусу сягає від 0,7 до 1,1. Відмов у посадці за досліджуваний період помічено не було. На зупинці «Ак. Заболотного» у зворотному напрямку значення коефіцієнту статичного використання місткості автобусу змінюється в межах від 0,2 до 0,5. У вихідні дні наповнення салону на зупиночних пунктах розподіляється рівномірно – від 0,2 до 0,4.

Для проведення обстеження табличним методом, згідно з розкладом руху автобусів, було обрано три часові проміжки: ранок: 6:59 – 7:44 (прямий напрямку руху), 7:49 – 8:34 (зворотній напрямку руху); день: 13:35 – 14:20 (прямий напрямку руху), 14:25 – 15:10 (зворотній напрямку руху); вечір: 16:42 – 17:27 (прямий напрямку руху), 17:32 – 18:17 (зворотній напрямку руху).

На основі отриманих даних обстеження пасажиропотоків табличним методом визначено основну інформацію, яка в подальшому використовується для розрахунку показників оцінки якості транспортного обслуговування пасажирів на маршруті. Приклад такої інформації для ранкового періоду обстеження наведено в табл. 1.

На основі результатів обох обстежень було розраховано значення критеріїв оцінки якості обслуговування пасажирів на маршруті: середню дальність поїздки пасажирів, коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоків, коефіцієнти статичного та динамічного використання місткості автобусу, коефіцієнт змінності пасажирів, регулярність руху автобусів та час очікування пасажирів на зупиночному пункті. Розрахункові значення критеріїв оцінки якості обслуговування пасажирів у ранковий період представлені в табл. 2.

Таблиця 1 – Результати обстеження пасажиропотоків табличним методом в ранковий період

День тижня	Напрямок руху	Обсяг перевезень, $Q_p$ , пас	Обсяг транспортної роботи, $W_p$ , пас-км	Потужність пасажиропотоку, $F$ , пас	Середнє значення пасажиропотоку, $F_{ср}$ , пас
Понеділок	прямий	69	694,91	1234	34,28
	зворотній	64	282,61	526	14,61
Вівторок	прямий	60	691,04	1233	34,25
	зворотній	54	290,83	518	14,39
Середа	прямий	51	651,78	1154	32,06
	зворотній	49	315,87	569	15,81
Четвер	прямий	48	671,42	1192	33,11
	зворотній	38	321,21	568	15,78
П'ятниця	прямий	46	650,72	1156	32,11
	зворотній	58	310,81	555	15,42
Субота	прямий	41	430,99	773	21,47
	зворотній	47	307,4	545	15,14
Неділя	прямий	32	320,4	568	15,78
	зворотній	41	328,38	599	16,64

Таблиця 1 – Значення критеріїв оцінки якості обслуговування пасажирів у ранковий період

День тижня	Напрямок руху	Середня дальність поїздки, км	Коефіцієнт нерівномірності	Коефіцієнт динамічного використання місткості	Коефіцієнт змінності
Понеділок	прямий	10,07	1,31	0,84	1,53
	зворотній	4,42	1,44	0,33	3,05
Вівторок	прямий	11,52	1,26	0,84	1,4
	зворотній	5,39	1,81	0,34	2,08
Середа	прямий	12,78	1,34	0,79	1,19
	зворотній	6,45	1,39	0,37	2,23
Четвер	прямий	13,99	1,3	0,82	1,12
	зворотній	8,45	1,46	0,37	1,65
П'ятниця	прямий	14,15	1,28	0,79	1,12
	зворотній	5,36	1,36	0,36	2,76
Субота	прямий	10,51	1,26	0,52	1,52
	зворотній	6,54	1,78	0,36	1,74
Неділя	прямий	10,01	1,46	0,39	1,39
	зворотній	8,01	1,2	0,38	2,05



За результатами розрахунків можна відзначити, що коефіцієнт динамічного використання місткості автобусу у ранковий період будніх днів в прямому напрямку руху коливається в межах від 0,79 до 0,84.

У зворотному напрямку значення коефіцієнту динамічного використання місткості є значно меншим, змінюється в межах від 0,32 до 0,37. Це зумовлено коливанням пасажиропотоку за напрямками руху протягом маршруту. Але невелике значення коефіцієнту динамічного використання місткості у зворотному напрямку компенсується більшим значенням коефіцієнту змінності, який показує, скільки пасажирів було перевезено за рейс на одному місці.

У денний період будніх днів значення коефіцієнту динамічного використання місткості становить від 0,63 до 0,68 у зворотному напрямку руху, і є більшим за аналогічні значення у прямому напрямку руху – від 0,27 до 0,46.

У вечірній період будніх днів значення коефіцієнту динамічного використання місткості становить від 0,68 до 0,75 у зворотному напрямку руху, що також є більшим за аналогічні значення у прямому напрямку руху, яке становить від 0,27 до 0,34.

Коефіцієнт змінності відповідно більший у прямому напрямку за аналогічний показник у зворотному.

У вихідні дні значення критеріїв оцінки якості розподіляються рівномірно на усіх напрямках руху.

Також за результатами обстежень встановлено той факт, що автобуси протягом тижня рухаються маршрутом з регулярністю у 88,09 %. Недотримання розкладу руху зумовлено втратою часу під час вечірніх заторів.

Розрахунковий час очікування на зупиночному пункті становить 8,25 хв.

## Висновки

Результати аналізу стану проблем оцінювання якості обслуговування пасажирів громадським транспортом показали, що основним завданням для перевізника є забезпечення найбільш можливої високої якості пасажирських перевезень. Вихідними даними для вирішення проблеми якості обслуговування є інформація про особливості формування загальної і транспортної рухливості населення, про розмір пасажиропотоків, їх зміну в просторі і в часі.

На основі результатів натурних спостережень встановлено, що обсяг перевезення у прямому та зворотному напрямках руху приблизно однаковий. Обсяг виконаної транспортної роботи, наповнення салону та середнє наповнення в ранковий період будніх днів більші за аналогічні у зворотному напрямку. У денний період будніх днів обсяг транспортної роботи, наповнення салону та середнє наповнення у зворотному напрямку більші за аналогічні показники у прямому напрямку. У вечірній період будніх днів обсяг транспортної роботи, наповнення салону та середнє наповнення у зворотному напрямку більші за аналогічні показники у прямому напрямку. У вихідні дні ці показники мають приблизно однакові значення у прямому та зворотному напрямках руху.

Максимальна ступінь заповнення салону автобусу спостерігається у прямому напрямку зранку в будні дні, у зворотному напрямку вдень та ввечері. Це зумовлене особливостями транспортної рухливості населення – поїздками вранці зі спальних районів до місць роботи та навчання та повернення протягом дня назад. У вихідні дні ступінь заповнення салону розподіляється рівномірно протягом усього дня. Для підвищення якості обслуговування пасажирів на маршруті пропонується зменшити інтервал руху автобусів до 9 хв., що призведе до необхідності придбання двох додаткових автобусів місткістю 50-60 пас.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучерук Г. Ю. Якість транспортних послуг: управління, розвиток та ефективність: монографія / Г. Ю. Кучерук. Київ: РВЦ ДЕТУТ, 2011. – 208 с.
2. Про автомобільний транспорт. Закон України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14>.
3. Правила надання послуг пасажирським автомобільним транспортом. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-97-п>.
4. Про дорожній рух. Закон України. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12>.
5. Правила надання послуг з технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1609-14#n16>.
6. Положення про робочий час і час відпочинку водіїв автотранспортних засобів. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0811-10>.
7. Ліцензійні умови провадження господарської діяльності з надання послуг з перевезення пасажирів і вантажів автомобільним транспортом загального користування (крім надання послуг з перевезення пасажирів та їх багажу на таксі). [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0562-10>
8. Салухіна Н. Г. Стандартизація та сертифікація товарів і послуг: підруч. / Н. Г. Салухіна, О. М. Язвінська. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 336 с.
9. Перелік продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в Україні. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0466-05>.
10. Правила сертифікації послуг автомобільного транспорту. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0192-99>.
11. Віниченко В. С. Аналіз факторів і умов, які впливають на якість пасажирських перевезень на міському пасажирському транспорті / В. С. Віниченко, І. Ю. Тарасюк // Коммунальное хозяйство городов. – 2011. – Вип. 99. – С. 369-374.
12. Валько А. М. Параметральні принципи якості транспортних послуг / А. М. Валько // Наукоємні технології. – 2013. – № 3. – С. 317-321.

13. Тиверовский В. Городской транспорт и его развитие за рубежом / В. Тиверовский // Бюллетень транспортной информации. – 2004. – №7. – С. 31–35.
14. Яновський П. О. Пасажирські перевезення: навч. посібник. / П. О. Яновський. – Київ: НАУ, 2008. – 469 с.
15. Спиринов И. В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / И. В. Спиринов. – М.: Изд-во «Академия», 2003. – 400 с.
16. Худяков В. Исследование оценки качества обслуживания пассажиров городским транспортом в Риге до 2018 года / В. Худяков // Research and technology – step into the future. – 2007. – №2 (2). – С. 5–14.
17. Назаренко Я. Я. Теоретичні аспекти управління якістю перевезень пасажирів автомобільним транспортом. / Я. Я. Назаренко // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. – 2013. – Вип. 12. – С. 313-318.
18. Транспорт Одессы. Система мониторинга пассажирского/коммунального транспорта в реальном времени. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://transport.odessa.ua>.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. О. Можасв,  
Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків  
Received (Надійшла) 25.04.2019  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

### Исследование качества обслуживания пассажиров на автобусном маршруте №240 города Одессы

Е. В. Любый, В. М. Чижик, С. В. Ковбан

**Предметом** изучения в статье является качество транспортного обслуживания пассажиров на автобусном маршруте №240 в городе Одессе. **Целью** исследования является проведение оценки качества транспортного обслуживания пассажиров на автобусном маршруте №240 в городе Одессе, основной исходной базой которой являются результаты натуральных наблюдений за работой автобусов на маршруте, и выбор мероприятий, направленных на повышение эффективности функционирования маршрута. **Задачи исследования:** анализ существующих подходов оценки качества транспортного обслуживания пассажиров общественным транспортом; выбор и обоснование подходов изучения спроса на передвижение пассажиров общественным транспортом; разработка методики проведения натуральных обследований работы автобусов на маршруте; определение выбранных параметров качества транспортного обслуживания пассажиров; разработка мероприятий по повышению качества транспортного обслуживания пассажиров на маршруте №240. **Получены следующие результаты:** проанализированы основные подходы оценки качества транспортного обслуживания пассажиров общественным транспортом, а также нормативно-правовую базу в этой сфере; разработана методика и приведены результаты натуральных обследований работы автобусов на маршруте; рассчитаны основные параметры качества транспортного обслуживания пассажиров на маршруте (средняя дальность поездки, коэффициент неравномерности пассажиропотоков, коэффициент динамического использования вместимости автобуса, коэффициент сменяемости, транспортную работу, регулярность движения, время ожидания), на основании которых предложены мероприятия по повышению эффективности работы маршрута. **Выводы.** Разработанная методика проведения натуральных обследований качества обслуживания пассажиров дает возможность получить исходные данные для дальнейшего определения и расчета параметров качества обслуживания на маршруте: регулярность движения автобусов, степень использования вместимости транспортного средства, средняя дальность поездки пассажиров, коэффициент сменности, коэффициент неравномерности пассажиропотоков, времени ожидания на остановочном пункте. Для повышения качества обслуживания пассажиров на маршруте предлагается уменьшить интервал движения автобусов до 9 мин., что приведет к необходимости приобретения двух дополнительных автобусов вместимостью 50-60 пасс.

**Ключевые слова:** общественный транспорт, маршрут, натурные наблюдения, пассажиропоток, качество транспортного обслуживания.

### Research of quality of passengers service on the route #240 of the Odessa city

Ye. Liubyi, V. Chizhik, S. Kovban

**Studying subject** in the article is quality of transport service of passengers on the bus route № 240 in the Odessa city. **The purpose** is to assess the quality of transport service of passengers on the bus route № 240 in Odessa city, the main base of which is the results of passenger traffic surveys of buses on the route, and the choice of measures aimed at improving the efficiency of the route. **Research problems:** analysis of existing approaches to assessing the quality of public transport passenger services; selection and justification of approaches to research the demand for the movement of passengers by public transport; development of methods for conducting passenger traffic surveys of buses on the route; determination of selected parameters of passenger transport service quality; development of measures to improve the quality of transport services for passengers on route № 240. **The following results are received:** the main approaches to assessing the quality of transport services for passengers by public transport were analyzed, as well as the regulatory framework in this area; a methodology has been developed and the results of passenger traffic surveys of buses on the route are presented; the main parameters of the quality of transport service for passengers on the route were calculated (average trip distance, the coefficient of uneven passenger traffic, the coefficient of dynamic use of the bus capacity, transport work, traffic regularity, waiting time), on the basis of which measures were proposed to improve the efficiency of the route. **Conclusions.** The developed methodology for carrying out passenger traffic surveys of passenger service quality makes it possible to obtain baseline data for further determining and calculating the parameters of the quality of service on the route: the regularity of buses, the coefficient of use of vehicle capacity, the average trip distance, the shift coefficient, the coefficient of uneven passenger traffic, the waiting time. To improve the quality of passenger service on the route, it is proposed to reduce the interval of buses to 9 minutes, which will lead to the need to purchase two additional buses with a capacity of 50-60 passengers.

**Keywords:** public transport, route, physical observations, passenger traffic, quality of transport services.

С. В. Очеретенко, В. Ю. Кудріна

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

**ВИКОРИСТАННЯ ЗНИЖОК В ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ ПІДПРИЄМСТВАХ**

**Предметом вивчення** в статті є зміна витрат на підприємстві при замовленні, доставці і зберігання матеріальних ресурсів на підприємстві при використанні різних видів знижок. **Метою** є розробка способу, визначення оптимального розміру замовлення з урахуванням існуючої системи знижок на підприємстві яка дозволить підвищити ефективність роботи підприємства за рахунок зниження загальнологістичних витрат. **Завдання дослідження:** аналіз існуючих знижок на торгових і промислових підприємствах в процесі закупівлі, транспортування зберігання матеріальних ресурсів; розробка математичних моделей визначення витрат при замовленні, доставці, зберігання матеріалів з урахуванням знижок, визначення математичних моделей загальнологістичних витрат з урахуванням використання одночасно знижок на транспортування, зберігання і закупівлю матеріальних ресурсів. **Отримані наступні результати.** Отримано математичні моделі, що дозволяють визначити оптимальний обсяг партії замовлення партії з урахуванням знижок, яка забезпечує найменші витрати. Отримано модель визначення сумарних витрат на доставку товару з урахуванням знижки на транспортування з урахуванням сучасних особливостей перевезення. Запропоновано математичні моделі, що дозволяють визначити загальні витрати на підприємстві при одночасних знижках на транспортування, закупівлі і зберіганні як з урахуванням вартості орендованої площі, так і в залежності від вартості одиниці продукції. **Висновки.** Питання про мінімізацію загальних витрат на підприємстві на пряму впливає на ефективність його роботи. Тому необхідно шукати різні варіанти для зниження сумарних витрат в логістичних системах. Одним із способів є зниження витрат є використання різних знижок, існуючих на торгових, промислових і транспортних підприємств. За допомогою запропонованих моделей можливо визначити управлінські рішення для розрахунку розміру замовленої партії. Це дозволить мінімізувати витрати на підприємстві, що в подальшому вплине на його розвиток.

**Ключові слова:** знижки, витрати, загальнологістичні витрати, партія замовлення, диференціальні знижки, сумарні витрати, система управління запасами, оптимальний розмір замовлення.

**Вступ**

У теперішній час збільшилась кількість виробничих і торговельних підприємств, а наразі чого збільшилась конкуренція між ними. Одним із способів підвищення конкурентоспроможності підприємства є впровадження на ньому принципів логістики, які дозволяють знизити загальнологістичні витрати [1, 2]. Підприємства повинні чітко представляти за рахунок чого можливо зменшити витрати та підвищити прибуток на підприємстві. Отже актуальним питанням є зменшення загальних витрат на підприємстві, за рахунок зменшення витрат у процесі замовлення, транспортування та зберігання товарів [3, 4]. Одним із способів підвищення ефективності роботи підприємства є використання системи знижок.

Аналіз літератури дозволив встановити [5-7], що у наш час існує дуже багато визначень поняття «знижка». В дослідженні приймаємо що знижка – це зниження продавцем ціни товару або послуги, з урахуванням складної ринкової кон'юнктури, взаємовідносин зі споживачами продукції, умовами її поставки і платежу в момент укладання угоди.

Таким чином необхідно розглянути можливість підвищення ефективності роботи підприємства за рахунок впровадження системи знижок.

**Аналіз публікацій.** Проведено аналіз як вітчизняних, так і зарубіжних джерел, та встановлено, що світовий ринок нараховує більше 100 видів знижок.

Для систематизації системи знижок проводимо класифікацію, застосовуваних знижок при управлінні ланцюгами поставок. Встановлено що, знижки поділяють: за плановістю: планова, позапланова; за типом: оптові, диференціальні, інтегральні; за номенклатурою поставки: однономенклатурні, багатона-

менклатурні і багатопродуктові, багатонаменклатурні по системі кратних періодів; по відношенню до логістичних функцій і операцій: в системах постачання, при транспортуванні, при зберіганні; по обліку фактору часу: статичні, динамічні; за тривалістю дії: короткострокова, прогресивна; за складністю: прості, комплексні; за відкритістю: очевидні, приховані; по виду аналітичної залежності для опису: дискретні, безперервні.

Аналіз літературних джерел дозволив встановити, що частіше за все поширені знижки при закупівлі, доставці та зберіганні товару, їх застосування грає велику роль в системі управління запасами [7].

До особливостей даних видів знижок можливо віднести: знижки на замовлення товару визначаються вартістю одиниці товару, яка може бути постійною або змінною.

Розмір знижки залежить від розміру замовлення партії товару; знижки на замовлення можуть включати в себе велику кількість складових, таких як тендер – вибір оптимального постачальника у вигляді конкурсу, або юридичний супровід угоди на усіх її етапах; знижки на зберігання можуть надаватися у вигляді двох складових, перша відображає ризиків, пов'язаних зі страхуванням, урахуванням ризиків, податками та іншими, параметри яких залежать від ціни одиниці товару. Друга відображає витрати, пов'язані зі зберіганням продукції, розраховується пропорційно площі або об'єму, яку займає замовлення на складі.

Втім, не зважаючи на проведені науковцями дослідження, залишаються недостатньо вивченими питання використання системи знижок та визначення оптимального розміру замовлення товару з урахуванням діючої системи знижок.

### Суть пропозиції

Як раніше встановлено, що найчастіше зустрічаються знижки трьох видів: на замовлення товару, на доставку та зберігання. Тож необхідно визначити складові витрат на кожний з них.

Модель загальних витрат можливо представити у вигляді виразу

$$C_{\Sigma} = C_{\text{зам}} + C_{\text{вик}} + C_{\text{зб}} + C_{\text{деф}} + C_{\text{л}} \quad (1)$$

де  $C_{\text{зам}}$  – витрати на замовлення продукції, грн.;  $C_{\text{вик}}$  – витрати на організацію (виконання) замовлення, грн.;  $C_{\text{зб}}$  – витрати на зберігання замовлення, грн.;  $C_{\text{деф}}$  – витрати від дефіциту, грн.;  $C_{\text{л}}$  – латентні витрати, грн.

Витрати на замовлення продукції визначаються вартістю одиниці товару

$$C_{\text{зам}} = C_n(Q) \cdot S, \quad (2)$$

де  $C_n(Q)$  – вартість одиниці товару в залежності від об'єму замовлення, грн.;  $Q$  – обсяг замовлення, од;  $S$  – потреба в продукті, що замовляється, од.

Витрати можуть бути постійною або змінною величиною при використанні знижок, які залежать від розміру замовлення. Тому складову  $C_n(Q)$  представимо у наступному вигляді

$$\begin{cases} C_{n1}, Q_{\min} < Q \leq Q_1, \\ C_{n2}, Q_1 < Q \leq Q_2, \\ C_{nn}, Q_{jn} \leq Q_{\max}, \end{cases} \quad (3)$$

де  $Q_{\min}$  – мінімально допустиме значення кількості товару до закупівлі ( $Q=1$ );  $Q_{\max}$  – максимально допустиме значення кількості товару до закупівлі.

На основі викладеного, вартість одиниці товару на замовлення, з урахуванням знижок на продукцію в залежності від обсягу замовлення (рис. 1).

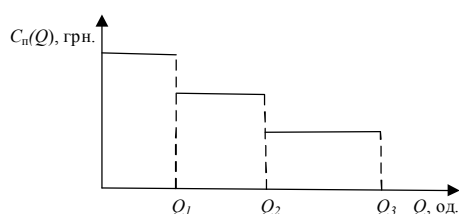


Рис. 1. Витрати на закупівлю з урахуванням знижок на ціну продукції

У витрати на замовлення можливо включити такі витрати, як тендер – вибір оптимального постачальника у вигляді конкурсу, витрати на юридичний супровід угоди. Отже, витрати на замовлення продукції у загальному вигляді представимо як

$$C_{\text{зам}} = C_n(Q) \cdot S + \sum C_{\text{тех}}, \quad (4)$$

де  $\sum C_{\text{тех}}$  – витрати пов'язані з технологією перевезення, які залежать від наявності тендера або юридичного супроводу торгівельної угоди на всіх її етапах, грн.

Наступною складовою загальних витрат є витрати, які враховують зберігання продукції на складі. Встановлено, що ці витрати залежать від вартості

продукції та площі складу. Таким чином витрати на зберігання можливо представити у вигляді двох складових: перша складова  $C_{\text{зб1}}$  відображає витрати, пов'язані зі страхуванням, урахуванням ризиків, податками та іншими, визначеними в залежності від ціни одиниці товару і середньої його величини; друга складова  $C_{\text{зб2}}$ , що відображає витрати, пов'язані зі зберіганням продукції, розраховується пропорційно площі або об'єму, яку займає замовлення на складі. Витрати на зберігання на підприємстві представимо у вигляді двох складових

$$C_{\text{зб}} = \Delta_1 C_{\text{зб1}} + \Delta_2 C_{\text{зб2}}, \quad (5)$$

де  $\Delta_1, \Delta_2$  – коефіцієнти, що відображають ступінь участі різних видів витрат на зберігання. Один з можливих варіантів залежності (5) є таким:

$$C_{\text{зб}} = \Delta C_{\text{зб1}} + (1 - \Delta) \cdot C_{\text{зб2}}. \quad (6)$$

де  $\Delta$  – коефіцієнт, що відображає ступінь участі різних видів витрат на зберігання,  $0 \leq \Delta \leq 1$ .

В першому випадку, коли витрати враховуються в залежності від вартості одиниці продукції, то витрати потрібно розрахувати за формулою

$$C_{\text{зб1}} = \Delta \cdot C_n(Q) \cdot i / 2 \cdot Q. \quad (7)$$

де  $i$  – частка від ціни, що припадає на витрати на зберігання.

Так як  $C_{\text{зб2}}$  залежить від оренди складських приміщень, тому розрахунки витрат на зберігання на складах ряду фірм, необхідно враховувати не середній розмір партії, а площу складу, яка потрібна для всієї партії, що надійшла. Таким чином витрати на зберігання потрібно розраховувати як

$$C_{\text{зб}} = \alpha \cdot k \cdot Q, \quad (8)$$

де  $\alpha$  – витрати на зберігання одиниці продукції, з урахуванням займаної площі складу, грн./м<sup>2</sup>;  $k$  – коефіцієнт, враховуючий просторові габарити одиниці продукції, м<sup>2</sup>/од.

Таким чином в загальному вигляді витрати на зберігання продукції на підприємстві доцільно використовувати за наступною залежністю, так як вона враховує різні варіанти знижок

$$C_{\Sigma \text{ зб}} = \Delta \frac{Q \cdot C_n(Q) \cdot i}{2} + (1 - \Delta) \cdot \alpha(Q) \cdot kQ. \quad (9)$$

Наступною складовою загальних витрат є витрати пов'язані з транспортуванням. Як відомо, зі збільшенням розміру замовлення продукції, транспортна складова на одне замовлення знижується так само, як і витрати пов'язані з утримання запасів, які знаходяться в дорозі. Зниження витрат здійснюється стрибкоподібно в залежності від транзитної нормою відправлення (рис. 2, де 1 – транспортні витрати; 2 – витрати, пов'язані з перебуванням запасу в дорозі; 3 – витрати на утримання запасів на складі; 4 – сумарні витрати).

Витрати на доставку продукції можливо представити у вигляді

$$C_{\text{д}} = S \cdot C_m(Q) / Q, \quad (10)$$

де  $C_m(Q)$  – витрати на виконання одного замовлення, з урахуванням знижки, грн.

Транспортний тариф можливо визначити за наступною формулою

$$C_m(Q) = C_{m1} + C_{m2}, \quad (11)$$

де  $C_{T1}$  – оформлення декларацій, грн.;  $C_{T2}$  – вартість доставки в залежності від маси вантажу та дальності доставки,  $C_{m2} = f(l, m)$ . Таким чином, витрати на доставку можливо представити

$$C_d = S \cdot (C_{m1} + C_{m2}(l, m)) / Q. \quad (12)$$

На практиці можливе використання різних видів знижок, і відповідно необхідні різні математичні моделі, при розрахунку загальнологістичних витрат. Представимо можливі варіанти використання знижок в табл. 1.

Таблиця 1 – Облік знижок у моделях розрахунку оптимальної партії замовлення

Мо- дель	Замовлення	Доставка	Зберігання	
			1 варіант	2 варіант
1	$C_n(Q)$	–	–	–
2	–	$C_i(Q)$	–	–
3	–	–	$C_n(Q)$	–
4	–	–	–	$a(Q) \cdot k$

Однак на практиці можливі ситуації, коли існує одночасне використання від 2 до 4 видів знижок при замовленні партії поставки, внаслідок чого

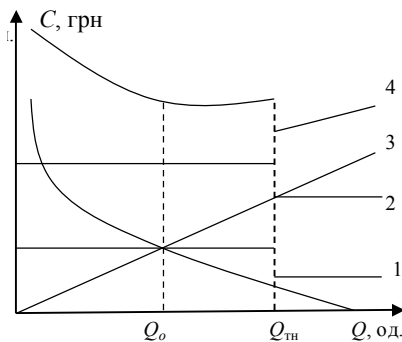


Рис. 2. Формування витрат на управління запасами з урахуванням знижок на тарифи на перевезення

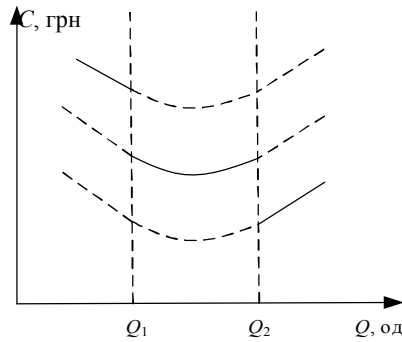


Рис. 3. Графічне представлення моделі, коли оптимальна партія знаходиться в інтервалі  $Q_2 < Q \leq Q_n$

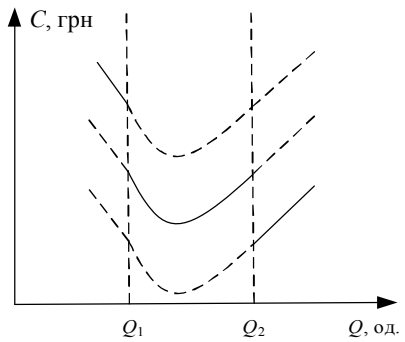


Рис. 4. Графічне представлення моделі, коли оптимальна партія знаходиться в інтервалі  $Q_1 < Q \leq Q_2$

Розглянемо наступний приклад, коли існують знижки на замовлення та зберігання. Витрати на зберігання залежать від вартості одиниці продукції. Тоді рівняння за допомогою якого можливо визначити загальні витрати буде приймати такий вигляд

$$C_{\Sigma} = C_n(Q) \cdot S + (C_{m1} + C_{m2}(l, m)) \cdot S / Q + C_n(Q_1) \cdot i. \quad (14)$$

В даній моделі аналогічно як у (3), витрати на замовлення змінюються дискретно, витрати на замовлення транспортування гіперболічно, а витрати на зберігання зростають прямопропорційно від розміру замовлення.

Оптимальний розмір партії визначається аналогічно по мінімуму витрат.

Графічно це можливо зобразити на рис. 5.

Аналіз табл. 1 дозволив встановити що можливо безліч ситуацій при різних варіантах знижок.

визначення загальнологістичних витрат буде змінюватись. Розглянемо ситуацію, коли існують знижки при замовленні партії вантажу при його транспортуванні та знижки на орендованому складі. На основі вище викладеного, аналітичну залежність  $C_n(Q)$  записуємо у вигляді дискретної залежності (3), витрати на закупку продукції зменшується зі збільшенням розміру замовлення найчастіше дискретно. Інколи існують диференційні знижки при замовленні партії вантажу. Витрати на організацію замовлення заказів зменшуються гіперболічною залежністю, а витрати на зберігання продукції збільшуються прямо пропорційно розміру замовлення. Тоді загальні витрати визначимо за формулою

$$C_{\Sigma} = C_n(Q) \cdot S + \frac{C_{m1} + C_{m2}(l, m) \cdot S}{Q} + a \cdot k \cdot Q. \quad (13)$$

Із вище сказаного слідує висновок, що можливі мінімальні витрати у кожному діапазоні цін. Можлива ситуація, коли оптимальна партія знаходиться в інтервалі  $Q_2 < Q \leq Q_n$  (рис. 3) та другий варіант, коли оптимальна партія знаходиться в інтервалі  $Q_1 < Q \leq Q_2$  (рис. 4).

Таким чином видно, що мінімальні загальні витрати можуть приймати різні значення. Все залежить від існуючих тарифів і знижок які існують на підприємстві.

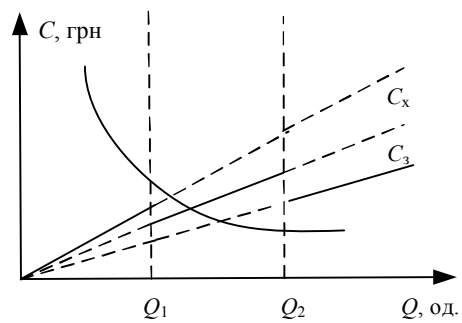


Рис. 5. Оптимальна партія знаходиться в інтервалі  $Q_2 < Q \leq Q_n$

### Висновки

Таким чином, розглянута вище методика системи знижок дозволяє визначити які конкретні знижки доцільно використовувати на своєму підприємстві або визначити партію замовлення на під-



риємстві, яка забезпечує мінімальні загальнологістичні витрати. Визначення загальнологістичних витрат представлено у ряді складових витрат, і представлено у вигляді адитивної моделі. За допо-

могою запропонованих методик можливо визначати управлінські рішення, щодо використання систем знижок і визначати обсяг замовлення, що вплине на розвиток підприємства в майбутньому.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гаджинский А.М. Логистика / А.М. Гаджинский. – М.: Дашков и К, 2013. – 420 с.
2. Логистика: Уч. пособие / Под ред. Б.А. Аникина. – М.: ИНФРА-М, 2008. – 368 с.
3. Хедли Дж. Анализ систем управления запасами / Дж. Хедли, Т. Уайтин : [перевод. с англ.] – М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1969. – 513 с.
4. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами: Учеб. пособие для студентов вузов / Ю.И. Рыжиков СПб.: Питер, 2001. 345 с.
5. Крикавський С.В. Логістика / С.В. Крикавський. – Львів: Львівська політехніка, 2004. – 464 с.
6. Логистика: учебник / [под ред. Б.А. Аникина]. – М.: Проспект, 2014. – 408 с.
7. Модели и методы теории логистики / [под ред. В.С. Лукинського]. – СПб.: Питер, 2008. – 598 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. О. Можасв,  
Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків  
Received (Надійшла) 25.04.2019  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

## Использование скидок в логистических системах предприятий

С. В. Очеретенко, В. Ю. Кудрина

**Предметом** изучения в статье является изменение затрат на предприятии при заказе, доставке и хранении материальных ресурсов на предприятии при использовании различных видов скидок. **Целью** является разработка способа, определения оптимального размера заказа с учетом существующей системы скидок на предприятиях которая позволит повысить эффективность работы предприятия за счет снижения общелогистических издержек. **Задачи исследования:** анализ существующих скидок на торговых и промышленных предприятиях в процессе закупки, транспортировки хранения материальных ресурсов; разработка математических моделей определения затрат при заказе, доставке, хранении материалов с учетом скидок, определение математических моделей общелогистических затрат с учетом использованием одновременно скидок на транспортировку, хранения и закупку материальных ресурсов. **Получены следующие результаты.** Получены математические модели, позволяющие определить оптимальный объем партии заказа партии с учетом скидок, которая обеспечивает наименьшие затраты. Получена модель определения суммарных затрат на доставку товара с учетом скидки на транспортировку с учётом современных особенностей перевозки. Предложены математические модели, позволяющие определить общие затраты на предприятии при одновременных скидках на транспортировку, закупки и хранения как с учетом стоимости арендуемой площади, так и в зависимости от стоимости единицы продукции. **Выводы.** Вопрос о минимизации общих затрат на предприятии на прямую влияет на эффективность его работы. Поэтому необходимо искать различные варианты для снижения суммарных затрат в логистических системах. Одним из способов является снижение затрат является использование различных скидок, существующих на торговых, промышленных и транспортных предприятий. С помощью предложенных моделей возможно определить управленческие решения для расчета размера заказываемой партии. Это позволит минимизировать затраты на предприятии, что в дальнейшем повлияет на его развитие.

**Ключевые слова:** скидки, издержки, общелогистические издержки, партия заказа, дифференциальные скидки, общие издержки, система управления запасами, оптимальный размер заказа.

## Use of discounts in logistics systems of the enterprise

S. Ocheretenko, V. Kudrina

**The subject of study** in the article is the change in costs in the enterprise: when ordering, delivering and storing material resources in the enterprise, while using various types of discounts. **The goal is to develop** a method for determining the optimal order size, taking into account the existing system of discounts at enterprises, which will improve the efficiency of the enterprise by reducing general logistic costs. **Research objectives:** analysis of existing discounts on commercial and industrial enterprises in the procurement process, transportation of storage of material resources; development of mathematical models for determining costs when ordering, delivering, storing materials with allowances for discounts, defining mathematical models for general logistics costs, taking into account the use of both discounts for transportation, storage and the purchase of material resources. **The following results are received.** Mathematical models were obtained, which allow to determine the optimal batch size of the batch order with allowance for discounts, which provides the lowest cost. A model for determining the total cost of delivering the goods, taking into account the discount on transportation, taking into account modern features of transportation, is obtained. Mathematical models are proposed, allowing to determine the total costs of an enterprise with simultaneous discounts on transportation, procurement and storage, taking into account the cost of the leased area, and depending on the unit cost. **Conclusions.** The question of minimizing total costs in an enterprise directly affects the efficiency of its work. Therefore, it is necessary to look for various options to reduce the total costs in logistics systems. One way is to reduce costs is to use various discounts existing at commercial, industrial and transport enterprises. With the help of the proposed models it is possible to determine management decisions for calculating the size of the ordered batch. This will minimize the costs of the enterprise, which will further affect its development.

**Keywords:** discounts, costs, general logistic costs, order lot, differential discounts, total costs, inventory management system, optimal order size.

E. Borodina, A. Hafiak, O. Shefer, S. Alyoshin

Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

## THE INFORMATION TECHNOLOGY AND MOBILE APPLICATIONS APPLIANCE FOR THE FUTURE SPECIALISTS PREPARATION IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

The article is devoted to the analysis and research of information technologies and mobile applications for the preparation of university students. Analyzed the actual problems of preparing students in terms of mobile devices. The versatility of the use of mobile devices in the educational process allows you to change the traditional form of teaching material, while applying innovative technologies. Various Google Apps services are explored with the help of which you can get wide opportunities for information education. Applying educational information technologies, it can be noted that learning becomes interactive, enhances the intensity of the learning process. Thus, the introduction of new information technologies and mobile applications in the educational process introduces completely new components of educational content necessary for the preparation of competitive specialists.

**Keywords:** information system, information technologies, mobile applications, institution of higher education

### Introduction

Smartphones and tablets are becoming more and more common in the modern student. These devices are used not only for watching movies and games, but also for working with documents and mastering educational material [1, 2]. Mobile devices provide the opportunity to learn at any time and in any place where you are. Therefore, learning has become much more convenient, and the opportunity has appeared to do this little by little, but often, which is very important in the learning process. It should be noted that mobile devices have long been an excellent addition to the already existing learning tools, and somewhere they replaced PCs. If we take webinars as an example, then with the help of mobile devices you cannot be attached to the workplace and you can join the webinar from anywhere in the world. In addition, now that the Internet is practically everywhere (in the subway, cafes, in parks), training has become more accessible. And mobile devices in full-time or full-time format –well support the theoretical component of the lesson.

There are many ways to use mobile devices in the learning process: for playing multimedia educational web resources (audio files, video files, graphics, maps, images);

✓ to provide quick access to training sites, resources, reference books, dictionaries;

✓ as a learning tool itself, subject to the development of training materials adapted for mobile communication platforms (SMS tests, tutorials and instructions based on mobile applications);

✓ for educational communication (SMS, Twitter, webinars, Skype, etc.).

It should be noted that mobile learning, unlike the traditional form of teaching materials and assignments, uses innovative technologies, with the help of which the form of this presentation is changed [3–6]. Such modern services as social networks, cloud storages, media hosting are used for content delivery.

### Main part

The most important tasks that the teacher has to solve every day is to activate the student's cognitive activity, to form and develop his steady cognitive interest in the subject being studied. One of the effective means of implementing this task can be the active use of various network services of the Internet.

The environment of modern network services allows you to open up the possibility of creating learning situations in which students can naturally master and work out the most important competencies necessary for schoolchildren at the current stage of social development:

✓ information literacy – the ability to search, recognize and use the necessary information, the ability to recognize and use various types of media resources;

✓ organizational literacy – the ability to plan one's time and one's own group time; understanding of the relationships that exist between people, groups, organizations;

✓ communicative literacy – the skills of effective communication and cooperation;

✓ productive literacy – the ability to create quality products, the use of adequate means, planning.

When choosing the necessary service, it is necessary to consider their efficiency and convenience in work. For posting on social services registration is required. As a result, if you use several services, there is a problem with remembering logins and passwords. In this regard, Google services have an advantage over other services, since under one account you can access any service included in Google. The information and educational environment using Google Apps can provide the following features [7]:

✓ working information space;

✓ live information channels;

✓ efficiency without IT specialists and servers;

✓ secure storage of documents in the cloud;

✓ access from anywhere at any time;

- ✓ customizable access, joint work on documents, cooperation at the same time from different places;
- ✓ creating temporary groups to solve and discuss problems at a time convenient for the group members;
- ✓ active networking of all participants;
- ✓ fast feedback;
- ✓ availability of plans, timely notification of events;
- ✓ availability of study plans for students at any time from any place.

Consider existing Google tools for education, namely the Google Classroom Learning Management System (fig. 1). The presented system allows you to create classrooms, publish and evaluate assignments, communicate with students, post announcements, and store and distribute educational materials. The teacher can see who completed the task, and who still continues to work on it, as well as read questions and comments of students [8].

Classroom mobile application allows students and their teachers [9]:

- ✓ take photos: straight from the tasks page, students can take photos and attach them to their work. This can be useful in such cases as conducting experiments and fixing their results in natural science disciplines or, for example, capturing the results of a drawing task;

- ✓ share information from other applications: Students can easily attach images, PDF files, and web pages from other applications to their assignments in the Classroom. For example, in any graphic application, you can draw a graph or diagram, and then attach it to your homework. When you click the "Share" button in a third-party application, the Classroom will appear in the list of possible options, thanks to which you can attach a picture or another document to the task;

- ✓ work offline: even if there is no Internet connection, both students and teachers have access to assignments in the Classroom mobile app. All information in the application is automatically cached every time the application is used when the Internet is connected.

- ✓ teachers have quick access to any task, can track which of them they have already checked, as well as how many students have already done their job;

- ✓ in order to make it easier to find the necessary information, the ability to archive lessons was added to the application. Thanks to this function, long-past material can now be sent to the archive, so that you can easily find it in the future.

Highlight the main areas in which mobile applications can be used:

Reminder of important information and events;

- ✓ personalized search;
- ✓ organization of common work;

- ✓ visualization;
- ✓ communication;
- ✓ research;
- ✓ learning;
- ✓ virtual reality.

One of the applications that allows you to not forget about important information and events is Google Keep (fig. 2). This application is an excellent cross-platform manager of notes, reminders and provides the following features [10]:

- ✓ **read text from images.** Google Keep can recognize text in images, thereby saving your time - let the program recognize text from a snapshot of a page in a book or magazine. As soon as the text is recognized, it immediately becomes ready for editing or copying;

- ✓ **set a reminder that will appear in Google Now.** Google Keep allows you to schedule tasks at a later date and receive notifications at the required time. For each note, you can assign a specific date and time;

- ✓ **smart filtering and sorting options.** Google Keep colors are not used to make notes more colorful, but to help organize tasks, thoughts, to-do lists, and more. For example, use blue for work notes, yellow for random thoughts, and so on;

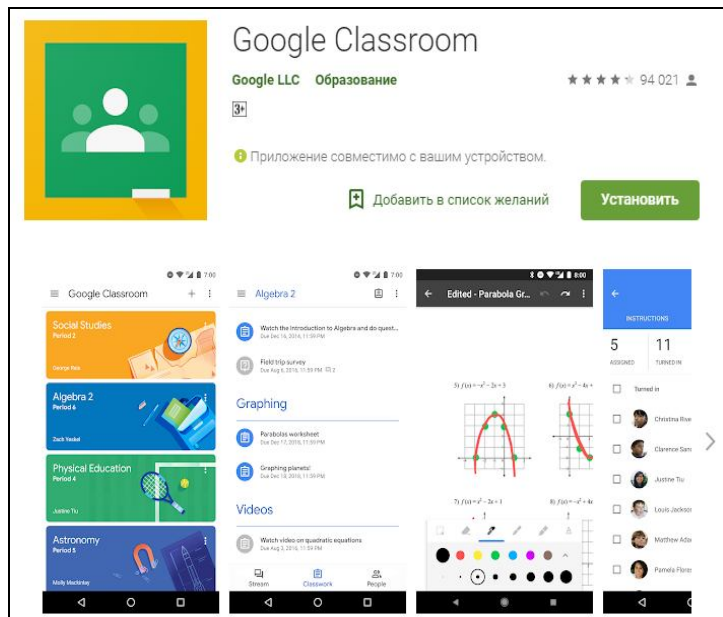


Fig. 1. Classroom application

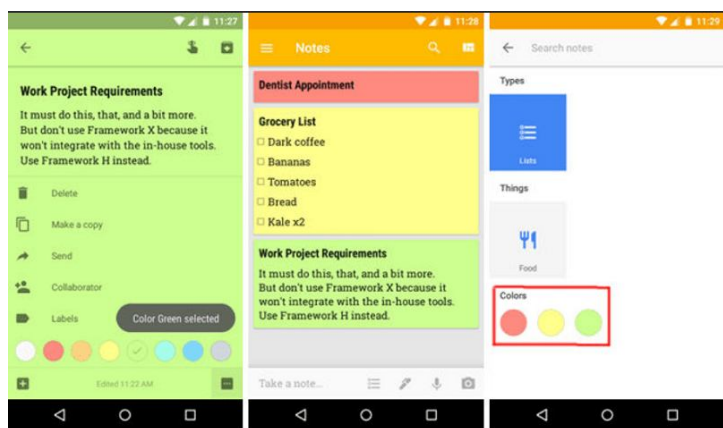


Fig. 2. Google Keep application

✓ **create voice memos.** Google Keep allows you to create voice memos. But in addition to synchronization between all platforms, the application also recognizes speech and adds it to the note as text;

✓ **recover deleted notes (as well as archiving).** If you accidentally deleted a note, you can restore it within 7 days while it is stored in the basket.

Personalized search is provided using the following Google applications:

✓ **Google Search** allows you to instantly get answers to your questions, learn interesting news and get information about important updates;

✓ **Google News** helps to find out information about events around the world and provides a selection of information taking into account the interests of the user;

✓ **Weather.**

Google applications also apply to the organization of general work, such applications include:

✓ **Google Drive** is data storage where you can place files of various types: text, image, photo, audio, video, presentation, etc. If Google Drive is used as part of Google Apps for Education, then there will be no restrictions on the size of stored files which is quite convenient, since you don't need to worry about the drive being full, or deleting old files;

✓ **Google Docs** – allows to create and edit text documents. This text editor is very similar to the well-known Word, but it has several advantages, such as sharing, commenting, the ability to insert various elements and a large selection of add-ons to optimize work and save time;

✓ **Google Sheets** – allows analyzing and visualizing data. In many similar to Excel, but have some advantages, similar to the advantages of Google Docs;

✓ **Google Slides** is a great way to introduce new ideas to your audience. Google Slides has many themes, fonts, embedded videos, animations, and other tools, as well as the ability to edit, as well as view presentations on any device - phone, tablet, or computer. All this can be done even without an Internet connection;

✓ **Google Calendar** is a service for scheduling meetings, events and affairs, which allows you to efficiently distribute and plan your time, which is important for a modern student and teacher.

For data visualization, Google provides the following applications:

✓ **Androidify** is an application where you can create Androids that look like yourself or friends. The finished picture is saved as a sticker or animated image that can be shared in chat rooms, posts and messages;

✓ **Snapseed** is a professional photo editor with three dozens of filters and tools, works with files in JPG and PNG formats. Among the features: automatic enhancement of the selected area of the image, a soft darkening at the edges, the rapid removal of unwanted objects, highlighting, blurring and other effects;

✓ **Google Photos** is a service for storing, organizing, displaying photos and videos.

The communication of the teacher with students can be achieved using such applications as:

✓ **Google Plus** is a social network model that allows participants to unite depending on their interests, hobbies or any particular events, allows you to hold video calls, chat in online chat and in mobile mode. Combines participants into one cluster, where they independently determine which participants will get access to this or that information, files or applications;

✓ **Hangouts Chat** makes it easy to collaborate and complete tasks for teams. With it, you can send private messages or chat with all team members at the same time. Dedicated virtual rooms for working on long-term projects and message chains make it easy to track progress and monitor tasks.

Google also provided applications for research:

✓ **Google Science Journal** – an application for teachers and scientists, allows you to measure the power of sound, pressure and other important parameters for experiments. External sensors on Arduino and Vernier are supported. The application allows you to take photos and notes during the study, as well as export the data as CSV files;

✓ **Google Expeditions** is an application for virtual educational tours (contains more than 200 expeditions). When you connect multiple devices to the same network, you can arrange a group tour from the depths of the ocean to the expanses of space.

Applications allow students and teachers to work remotely on common documents and projects, and teachers can monitor and manage this work.

Regardless of the type of task and means of its implementation, students' independent work is aimed at developing the ability to make independent selection, critical thinking and presenting information, formulating their own conclusions and value judgments on the basis of the proposed information.

## Conclusions

It is safe to say that in the modern world there is a tendency to merge educational and information technologies and the formation on this basis of fundamentally new integrated learning technologies based, in particular, on the use of mobile devices and applications. In this case, learning becomes interactive, the importance of students' independent work grows, the intensity of the learning process is greatly increased, etc. Their complex application allows raising the learning process and the quality of education of students to a new level.

Conducting classes using the mobile class allows you to organize the study of new material, the activity of students using the Internet (access to multimedia information on the Web, work with social services), individual and joint activity of students.

The portability of mobile technology gives users greater flexibility and convenience. Students are now free to choose the time to access educational content within incredible limits.

In addition, another clear advantage of using mobile devices in training is the possibility of tactile, sensory interactions. Mobile content can and should be created so that the user interacts with it interactively. Even simple things such as audio, interactive interfaces,

vibrations, swipes, and drag-and-drop movements can be a powerful force in the context of mobile learning.

Finally, this type of training places great demands on the content, both on quality and quantity. Content on a mobile platform should be extremely straightforward and simple, and without prejudice to its depth and

features of the lessons. The active use of mobile learning does not aim to replace computers with portable gadgets, but rather expands and complements the educational environment with interesting new methods that are more preferable and more accessible to students.

## REFERENCES

1. Donets, V., Kuchuk, N. and Shmatkov, S. (2018), "Development of software of e-learning information system synthesis modeling process", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No 2, pp. 117–121, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20>.
2. 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>
3. 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>.
4. Ruban, I., Kuchuk, H. and Kovalenko A. (2017), "Redistribution of base stations load in mobile communication networks", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No 1 (1), P. 75–81, doi : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>.
5. Kuchuk, G., Nechausov, S. and Kharchenko, V. (2015), "Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store", *International Conference on Information and Digital Technologies, Zilina*, pp. 266-271, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
6. Saravana Balaji B., Karthikeyan N.K., Raj Kumar R.S. Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation. *Computers & Electrical Engineering*, 2018. Vol. 69, P. 435-446, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.09.013>
7. Educational session on Google products [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/07a0d724f36c7688c3257711003e9e95>.
8. Evzikova Olesya Google Education Tools / Evzikova Olesya // [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://teachtech.ru/instrumenty-veb-2-0/instrumenty-google-dlya-obrazovaniya.html>.
9. Classroom for convenient organization of the educational process [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://w3bsit3-dns.com.ru/2015/01/16/196936/>.
10. 5 cool chips in Google Keep [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://cloudspace.news/5-krutyx-fishek-v-google-keep-kotorymi-vy-obyazany-polzovatsya/>.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. Г. Семенов,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

Received (Надійшла) 04.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.05.2019

### Применение информационных технологий и мобильных приложений для подготовки будущих специалистов в учреждениях высшего образования

Е. А. Бородина, А. М. Гафияк, А. В. Шефер, С. П. Алёшин

Статья посвящена анализу и исследованию информационных технологий и мобильных приложений для подготовки студентов ВУЗ. Проанализированы актуальные проблемы подготовки студентов в условиях применения мобильных устройств. Многогранность применения мобильных устройств в учебном процессе позволяет изменить традиционную форму подачи учебного материала, применяя при этом инновационные технологии. Исследованы различные сервисы Google Apps с помощью, которых можно получить широкие возможности для информационного образования. Применяя образовательные информационные технологии можно отметить, что обучение становится интерактивным, усиливает интенсивность учебного процесса. Таким образом, внедрение новых информационных технологий и мобильных приложений в образовательный процесс вносит совершенно новые компоненты содержания образования, необходимые для подготовки конкурентоспособных специалистов.

**Ключевые слова:** информационная система, информационные технологии, мобильные приложения, высшее учебное заведение.

### Застосування інформаційних технологій і мобільних додатків для підготовки майбутніх фахівців в закладах вищої освіти

О. О. Бородіна, А. М. Гафіяк, О. В. Шефер, С. П. Альошин

Стаття присвячена аналізу та дослідженню інформаційних технологій і мобільних додатків для підготовки студентів ВНЗ. Проаналізовано актуальні проблеми підготовки студентів в умовах застосування мобільних пристроїв. Багатогранність застосування мобільних пристроїв в навчальному процесі дозволяє змінити традиційну форму подачі навчального матеріалу, застосовуючи при цьому інноваційні технології. Досліджено різні сервіси Google Apps за допомогою, яких можна отримати широкі можливості для інформаційної освіти. Застосовуючи освітні інформаційні технології можна відзначити, що навчання стає інтерактивним, підсилює інтенсивність навчального процесу. Таким чином, впровадження нових інформаційних технологій і мобільних додатків в освітній процес вносить абсолютно нові компоненти змісту освіти, необхідні для підготовки конкурентоспроможних фахівців.

**Ключові слова:** інформаційна система, інформаційні технології, мобільні додатки, вищий навчальний заклад.



С. Ю. Гавриленко

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

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТЕНТИФІКАТОРА ВЕБ-САЙТІВ НА ОСНОВІ SRP-ПРОТОКОЛУ

Проведено аналіз моделювання та дослідження автентифікатора веб-сайтів на основі SRP-протоколу. Доведено що запропонований підхід є стійким до атак посередника. Клієнт, за протоколом SRP не відправляє пароль користувача на сервер, а обчислює на його основі ключ. Маючи верифікатор пароля, отриманий при реєстрації, сервер також може обчислити цей ключ. По відкритому каналу передається не сам ключ, а спеціальні перевірені значення. Розроблено мобільний клієнтський додаток для ОС Android та фреймворк для серверу на мові PHP. Додаток виконує процедури реєстрації та автентифікації користувача відповідно до протоколу SRP. Оскільки передбачається, що користувач буде працювати із веб-сайтом з іншого пристрою, додаток генерує спеціальне значення ключа доступу на основі ключа сесії. Для доступу до сайту з будь-якого пристрою у формі автентифікації клієнт вводить значення не самого паролю, а ключ доступу, який надсилається на сервер і перевіряється.

**Ключові слова:** автентифікація, веб-сайти, безпека інформації, SRP-протокол.

### Постановка проблеми

У наш час існує велика кількість різноманітних веб-сайтів та веб-додатків, що спрощують наше життя і дозволяють отримувати актуальну інформацію, обмінюватися даними, здійснювати покупки, тощо. При цьому, у процесі експлуатації веб-сайтів виникає необхідність збереження різних даних користувачів. Деякі веб-додатки зберігають персональні дані про користувача, такі як прізвище, ім'я, по-батькові, номер телефону і т.д. Деякі зберігають фінансові дані користувача, такі як реквізити платіжних систем, номер банківського рахунку, тощо. Також, деякі веб-сайти зберігають стан балансу користувача в системі. З такою великою кількістю даних виникає необхідність у надійній системі захисту цих даних, адже їх отримання сторонніми особами може нанести суттєву шкоду, у першу чергу матеріальну, як користувачам, так і власникам веб-сайту. Однією з процедур, що повинні забезпечувати безпечне зберігання даних користувачів є процедура автентифікації.

*Аналіз літератури* [1–14] показав, що одним з підходів забезпечення послуги автентифікації веб-сайтів є використання протоколу SRP. В ряді літературних джерел [1, 5] показано, що оскільки протокол SRP має захист від атаки посередника, та має у основі своїх обчислень захист даних, який забезпечує складність задачі дискретного логарифмування, то його можна використовувати як основу для системи безпечної автентифікації на веб-сайтах.

Подібна ідея розглядалась у статті [2]. При цьому для реалізації даного протоколу на клієнтській стороні було запропоновано використовувати мову JavaScript. Тобто, алгоритм обчислень клієнтської сторони надходив клієнту мовою JavaScript разом із усією HTML-сторінкою у якості відповіді від сервера.

Такий підхід має певні недоліки, оскільки при атаці посередника, можна не тільки отримувати або відправляти від чогось імені дані (від імені клієнта або сервера), а також модифікувати їх. Таким чином, посередник може видалити код мовою

JavaScript перед надсиланням сторінки клієнту. Отже, ввівши дані до форми автентифікації, та відправивши їх на сервер, клієнт передасть свій пароль у відкритому вигляді (оскільки JavaScript не виконає необхідних обчислень з паролем). Така схема роботи веб-додатку та реалізації атаки посередника зводить нанівець весь математичний апарат протоколу SRP, який повинен сприяти захисту даних від атак посередника. Отже, пароль клієнта повинен бути завжди закодованим перед надісланням серверу. Одним з можливих рішень даної задачі є розробка додатку для смартфонів з Android ОС.

### Основна частина

**Принципи функціонування автентифікатора на основі SRP-протоколу.** При дослідженні виникає наступна задача: необхідно зв'язати пристрій, на якому користувач здійснює доступ до сайту (комп'ютер, ноутбук) із результатом автентифікації користувача на сервері через мобільний додаток. У звичайній ситуації, при успішній автентифікації через форми, сервер створює для користувача нову сесію, і зберігає ідентифікатор цієї сесії до файлу cookie. У ситуації ж з додатком таке рішення неможливе не тільки з приводу того, що користувач може використовувати інший пристрій для доступу до веб-сайту, а ще й тому, що для реалізації такої процедури необхідно було б створити власний браузер із підтримкою протоколу SRP.

Тому було вирішено, що додаток для мобільного пристрою генерує спеціальний код, і вводить його на пристрої, де необхідно розпочати сесію (для підтвердження того, що користувач успішно пройшов процедуру автентифікації). Код генерується на основі частини від ключа  $K$  [6] за допомогою хеш-функції. Це зроблено для того, щоб додатково ускладнити відновлення ключа користувача  $K$ , а з нього – пароля користувача.

Слід зауважити, що такий підхід не зовсім захищає від атак посередника. Додаток зможе захистити від отримання паролю посередником, однак, атака посередника може бути здійснена для отримання ідентифікатора сесії, що буде передаватися від

браузера клієнта серверу. Захист ідентифікатора сесії потребує окремих досліджень, оскільки використовувати протокол SRP для шифрування та передачі ідентифікатора сесії є неоптимальним, оскільки для реалізації протоколу використовуються великі числа. Так, наприклад, при обчисленні верифікатора пароля генератор групи зводиться у ступінь результату хеш-функції. Оскільки для тестування було взято хеш-функцію SHA-256, яка на виході дає 256-розрядне число, то і генератор необхідно звести у ступінь 256-бітного числа. Навіть при використанні 1024-бітної групи затримка при виконанні таких обчислень є помітною для користувача (до цього ще слід додати можливу повільну передачу даних у мережі). Отже, використання такого алгоритму для операції передачі ключа сесії, яка відбувається досить часто, при кожному оновленні сторінки, може суттєво вповільнити роботу та доступ до веб-сайту.

Окрім цього, алгоритм реалізації потребує захисту від атак на базу даних, оскільки саме в ній зберігаються дані про згенеровані ключі клієнтів до того моменту, як для заданого автентифікованого користувача буде відкрито нову сесію. Знаючи ключ  $K$ , згенерований у результаті роботи протоколу SRP та алгоритм генерації ключа сесії для користувача, зломисник може видати себе за нього.

Також, можливе створення вірусу для мобільних пристроїв, на яких працюватиме додаток.

**Реалізація клієнтської частини автентифікатора.** Клієнтська частина автентифікатора представляє собою додаток для операційної системи Android не нижче 14 версії Android SDK.

Клієнтський додаток має 3 екрани (activity):

- MainActivity – головне вікно програми, яке дозволяє клієнту зробити вибір між необхідною процедурою: реєстрація або автентифікація;

- RegisterActivity – вікно програми, у якому здійснюється процедура реєстрації;

- LoginActivity – вікно програми, у якому здійснюється процедура автентифікації.

Кожне із зазначених вікон має відповідний файл мовою XML, у якому зазначене розташування графічних елементів, специфічних для ОС Android. До кожного файлу XML із графічним інтерфейсом є відповідний клас мовою Java, який містить програмну реалізацію процедур створення цих вікон, обробки дій (переважно, натискання на кнопку), обчислення та передачі даних.

Ще одним Java-класом, важливим для реалізації даного автентифікатора є клас SRP.java, який виконує обчислення усіх необхідних даних за протоколом SRP. Оскільки у обчисленнях беруть участь великі числа (більші за 64 розряди), то для роботи із цими числами було використано спеціальний клас java.math.BigInteger. Характерною особливістю вікна із реєстрації користувача RegisterActivity є те, що воно має дві строки вводу пароля для перевірки правильності введення. Окрім цього, виконується перевірка достатньої складності пароля (у даному випадку, пароль має складатися не менше, ніж з 5 символів).

Клас SRP.java при реєстрації клієнта генерує сіль та обчислює верифікатор пароля. Далі, дані отримуються

класом RegisterActivity.java, який відправляє запит про реєстрацію із заданими параметрами на сервер. Вікно реєстрації виводить текстове повідомлення, яке відображає результат реєстрації. Це або успішна реєстрація (повідомлення "You was registeres successfully"), або клієнта не було зареєстровано, оскільки у системі вже користувач із заданою адресою електронної пошти (повідомлення "User with email: already registered!").

Вікно автентифікації LoginActivity дозволяє клієнту отримати ключ автентифікації для сайту. При цьому усі необхідні параметри автентифікації також обчислює клас SRP.java, а клас LoginActivity.java (додаток В) забезпечує відправку та отримання даних від сервера. У результаті процедури автентифікації клієнту може бути виведено повідомлення про невідповідність даних вимогам протоколу SRP. Окрім цього, клієнту можуть виводитися дані про неправильність порівняння параметрів, обчислених клієнтом, та параметрів, обчислених сервером.

Якщо всі обчислення було здійснено правильно, то клієнту виводиться код доступу, за яким на іншому пристрої буде створено нову сесію. Кодом є останні 10 байт від результату хешування частини ключа  $K$  (останні 16 байт) та солі. 10 байт беруться для того, щоб користувачу було не складно вводити, але при цьому уникнути повторень ключів у користувачів сайту. Останні 16 байт ключа  $K$  беруться через те, щоб у разі розкриття початкової строки хеш-функції з ключа  $K$  не було спроб відновити пароль.

**Реалізація серверної частини автентифікатора.** Серверна частина постачається розробникам у якості фреймворка, файли якого необхідно додати до проекту. Серверна частина розроблена для веб-додатків, написаних на мові PHP версії не менше 5.6.

Серверна частина складається з наступних файлів: register.php; login.php; verify.php; auth.php; settings.php.

Передбачається, що каталог "srp\_auth" із цими файлами буде додана до кореневого каталогу веб-сайту.

До файлу "register.php" клієнтський додаток звертається при реєстрації клієнта. Сценарій цього файлу лише зберігає дані про нового користувача, а саме: адресу електронної пошти, верифікатор пароля та сіль. Окрім цього скрипт виконує перевірку того, що користувач із заданою адресою електронної пошти не був раніше зареєстрований на цьому сайті.

Сценарій файлу "login.php" передбачає початок процедури автентифікації на веб-сайті. На цьому етапі користувач надсилає серверу значення електронної пошти  $I$  та обчислене значення  $A$ . Сервер, у свою чергу, надсилає значення солі та згенероване значення  $B$ . Після цього здійснюється обчислення ключа сесії  $K$  за протоколом SRP, а також обчислюються перевірочні значення  $M$ ,  $R$  із наступним занесенням до бази даних.

Після того, як клієнтський додаток обчислить власні перевірочні значення  $M$ ,  $R$ , він надсилає запит до скрипту "verify.php" із значенням  $M$ . Якщо значення  $M$ , отримане від користувача і обчислене сервером співпадають, сервер надсилає користувачу перевірочне значення  $R$ .

Файл "auth.php" виконує автентифікацію користувача на сайті. До цього надходить запит на автентифікацію із HTML-форми. Порівнюється електронна пошта користувача та ключ сесії із обчисленим на основі ключа К. Якщо надіслано правильні дані, то для заданого користувача у сесію розміщується адреса його електронної пошти. При подальшому використанні для перевірки того, чи був користувач автентифікований, виконується перевірка, чи встановлено встановлено змінна сесії "user".

Окрім цього, для роботи фреймворка необхідно створити у базі даних дві таблиці. Перша - "users" містить постійні дані про клієнтів (адресу електронної пошти, верифікатор пароля та сіль). Друга таблиця – "session" зберігає тимчасові дані про процедуру автентифікації (зберігає обчислений ключ К за протоколом SRP, а також параметри перевірки М, R, після успішного відкриття сесії ці дані видаляються. Таблиця "users" має наступну структуру, наведену на рис 1. Структуру таблиці "session" наведено на рис. 2.

#	Имя	Тип	Сравнение	Атрибуты	Null	По умолчанию	Комментарии	Дополнительно
1	id	bigint(20)		UNSIGNED	Нет	Нет		AUTO_INCREMENT
2	username	tinytext	utf8_general_ci		Нет	Нет		
3	salt	text	utf8_general_ci		Нет	Нет		
4	verifier	text	utf8_general_ci		Нет	Нет		

Рис. 1. Структура таблиці "users"

#	Имя	Тип	Сравнение	Атрибуты	Null	По умолчанию	Комментарии	Дополнительно
1	record	bigint(20)		UNSIGNED	Нет	Нет		AUTO_INCREMENT
2	user	tinytext	utf8_general_ci		Нет	Нет		
3	R	text	utf8_general_ci		Нет	Нет		
4	M	text	utf8_general_ci		Нет	Нет		
5	K	tinytext	utf8_general_ci		Нет	Нет		
6	generation_time	timestamp			Нет	CURRENT_TIMESTAMP		

Рис. 2. Структура таблиці "session"

**Процедура автентифікації.** Для початку процедури автентифікації у головному вікні програми клієнт повинен натиснути кнопку "Log In", після чого ввести необхідні дані до форми автентифікації.

Далі і клієнтський додаток і сервер обчислюють параметри процедури автентифікації за протоколом SRP.

Спочатку користувач надсилає серверу значення електронної пошти І та обчислене значення А. Сервер, у свою чергу, надсилає значення солі та згенероване

значення В. Після цього обидві сторони здійснюють обчислення ключа сесії К за протоколом SRP, а також обчислюють перевірочні значення М, R із наступним занесенням до бази даних.

Протягом обміну даних параметри клієнтського додатку зберігаються у екземплярі класу SRP.java (відображення обчислених даних наведено на рис. 3), а серверний скрипт зберігає дані, необхідні для подальшого виконання процедури автентифікації, до бази даних (рис. 4).

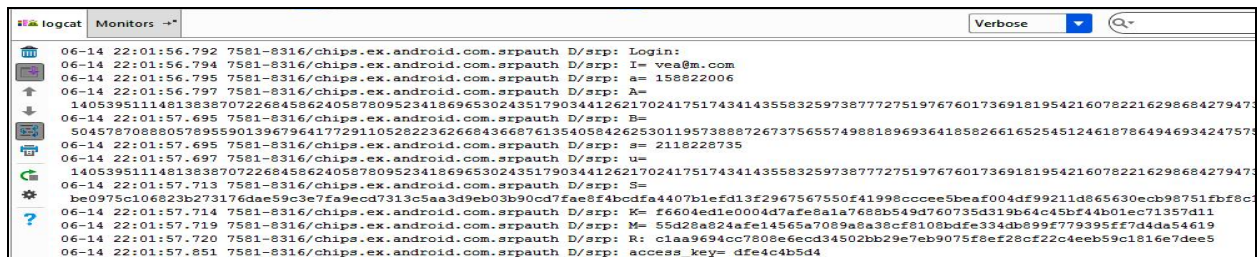


Рис. 3. Параметри процедури автентифікації, що обчислює клієнтський додаток

record	user	R	M	K
101	vea@m.com	c1aa9694cc7808e6ecd34502bb29e7eb9075f8ef28cf22c4ee...	55d28a824afe14565a7089a8a38cf8108bdfc334db899f7793...	f6604ed1e0004d7afe8a1a...

Рис. 4. Параметри процедури автентифікації, що були обчислені та збережені сервером у БД

**Висновки**

Таким чином, проведено моделювання та дослідження автентифікатора веб-сайтів на основі SRP-протоколу.

Перевагами даного автентифікатора є те що:

- автентифікатор використовує алгоритм шифрування SRP, який є стійким до атаки посередника;

- реалізація у вигляді мобільного додатку захищає саму процедуру автентифікації від атаки посередника;

- надійність даних забезпечує складність задачі дискретного логарифмування.

Разом із цим, зазначимо, що автентифікатор має такі недоліки:

- можлива атака посередника із перехопленням ключа сесії вже після процедури автентифікації;

- необхідно захищати базу даних від атак, оскільки у ній містяться дані про ключі сесії користувачів, які автентифікувалися, але не відкрили сесію;
- перехоплення паролів у нешифрованому вигляді можливе при розробці спеціального вірусу для мобільної платформи.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Виростков Д. Обзор способов и протоколов аутентификации в веб-приложениях [Электронный ресурс] / Д. Виростков // Хабр. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/company/dataart/blog/262817>
2. Давлетханов М. Концепция одноразовых паролей в системе аутентификации [Электронный ресурс] / М. Давлетханов // BYTE. – 2006. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.bytemag.ru/articles/detail.php?ID=9101>
3. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010. – Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.
4. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies. Zilina*, 2015. P. 266-271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
5. Федоров А. SRP-6: аутентификация без передачи пароля. 2011. URL : <https://habr.com/post/121021>.
6. Фергюсон Н. Практическая криптография / н. Фергюсон, Б. Шнайер, Вильямс 2004, 432 с.
7. Amin Salih M., Yuvaraj D., Sivaram M., Porkodi V. Detection And Removal Of Black Hole Attack In Mobile Ad Hoc Networks Using Grp Protocol. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*. Vol. 9, No 6. P. 1–6, DOI: <http://dx.doi.org/10.26483/ijarcs.v9i6.6335>
8. Yogesh Awasthi, R P Agarwal, B K Sharma, "Intellectual property right protection of browser based software through watermarking technique", *International Journal of Computer Applications*, vol. 97, no. 12, 2014, pp. 32-36.
9. Yogesh Awasthi, R P Agarwal, B K Sharma, "Two Phase Watermarking for Security in Database", *International Journal of Computing*, vol. 4, no. 4, 2014, pp. 821-824
10. Saravanan S., Hailu M., Gouse G.M., Lavanya M., Vijaysai R. Optimized Secure Scan Flip Flop to Thwart Side Channel Attack in Crypto-Chip. *International Conference on Advances of Science and Technology, ICAST 2018. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*. Vol 274. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15357-1\\_34](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15357-1_34)
11. Manikandan V, Porkodi V, Mohammed AS, Sivaram M, "Privacy Preserving Data Mining Using Threshold Based Fuzzy cmeans Clustering", *ICTACT Journal on Soft Computing*, Vol. 9, Is. 1, 2018, pp.1813-1816. DOI: [10.21917/ijsc.2018.0252](https://doi.org/10.21917/ijsc.2018.0252)
12. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. – 2017. – No 1 (1)– P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>
13. Teilor.D Using the Secure Remote Password (SRP) Protocol for TLS Authentication [Электронный ресурс] / Д. Тейлор // IETF. – 2007. – Режим доступа до ресурсу: <https://tools.ietf.org/html/rfc5054#ref-MODP>;
14. Semenov S. Identification of the state of an object under conditions of fuzzy input data / S. Semenov, O. Sira, S. Gavrylenko, N. Kuchuk // *Eastern-european journal of enterprise technologies*.– Kharkiv. 2019 No. 4(97). P.22-30 (SCOPUS)

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. Г. Семенов,

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

Received (Надійшла) 04.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.05.2019

### Modeling and studying authenticators of web sites based on SRP protocol

S. Gavrylenko

Analysis of simulation and research of site authenticator based on SRP-protocol. It is proved that the proposed approach is resistant to mediator attacks. The client, according to the SRP protocol, does not send the user password to the server, but calculates the key based on it. Having a password verifier received at registration, the server can also calculate this key. On the open channel is not the key itself, but the special checking values. Developed a mobile client application for the Android OS and Free make for the server in PHP. The application performs user registration and authentication procedures in accordance with the SRP protocol. Because it is assumed that the user will work with the website from another device, the application generates a special key value based on the session key. To access the site from any device in the form of authentication, the client enters the value of not the password itself, but the access key that is sent to the server and verifies.

**Keywords:** Authentication, Web Sites, Information Security, SRP-Protocol

### Моделирование и исследование автентификатора веб-сайтов на основе SRP-протокола

С. Ю. Гавриленко

Проведен анализ моделирования и исследования автентификатора веб-сайтов на основе SRP-протокола. Доказано, что предложенный подход является устойчивым к атакам посредника. Клиент, по протоколу SRP не отправляет пароль пользователя на сервер, а вычисляет на его основе ключ. Имея верификатор пароля, полученный при регистрации, сервер также может вычислить этот ключ. По открытому каналу передается не сам ключ, а специальные проверочные значения. Разработан мобильный клиентское приложение для ОС Android и фреймворк для сервера на языке PHP. Приложение выполняет процедуры регистрации и аутентификации пользователя в соответствии с протоколом SRP. Поскольку предполагается, что пользователь будет работать с сайтом с другого устройства, приложение генерирует специальное значение ключа доступа на основе ключа сессии. Для доступа к сайту с любого устройства в форме аутентификации клиент вводит значения не самого пароля, а ключ доступа, который направляется на сервер и проверяется.

**Ключевые слова:** аутентификация, веб-сайты, безопасность информации, SRP-протокол

A. Hafiak, S. Alyoshin, E. Borodina, A. Diachenko-Bohun

Poltava National Technical Yuriy Kondratyuk University, Poltava, Ukraine

## MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES AS THE BASIS OF THE EDUCATIONAL INFORMATIZATION PROCESS

The article is devoted to the analysis and research of innovative methods of teaching students in the conditions of the development of the information technology industry. Actual problems of professional training of specialists in the conditions of the development of the information society are analyzed and ways of their solution are investigated. Analyzed the role of information technology in higher education institutions. Currently, the main directions in the educational process are the use of automated systems and complexes, expert systems and decision support systems, the development of information technologies on the use of information technologies for modeling various objects and processes. The types of innovative teaching methods using modern technologies have been studied. At this stage they use powerful personal computers, new information and telecommunication technologies. The features of hardware and software for educational purposes are investigated. One of the special means of training is accessibility, the speed of obtaining knowledge at a convenient time, the possibility of an individual rate of knowledge acquisition. The directions of the use of information technology in the educational environment are substantiated.

**Keywords:** software tools, innovative teaching methods, information technologies, pedagogical innovation.

### Introduction

The transforming process of society into a global informational space is based on the specialists' competence, which allows keeping the problem of innovative approaches to the educational processes organization up to date. The main features of the informational society are: increasing role of information in public life, increasing the number of specialists involved in the information technology, growth of information technologies and the role of information technology in public relations; creating a global informational space that provides access to world information resources [1–8].

The education system in modern conditions receives additional requirements for specialists' training skills in the solving of non-standard tasks that is why the leading place in such system takes the innovative methods for preparing students in the higher education system. In this regard, the problems of innovative methods of teaching students in the conditions of the information technology development and information technology industry and their analysis are definitely relevant.

**Scientific works analysis.** The problems of innovative methods of teaching students in the conditions of information technologies development and information and telecommunication technologies industry and their analysis were researched by many domestic and foreign scientists, where the complexity and multidimensionality of this process is noted [9–13]. Scientists claim that an innovative approach to students learning should be systematic and cover all aspects of educational work in the preparation of future professionals, while the theoretical and practical approaches to the content of education, the new technologies and teaching methods development should be reviewed. V. Andrieiev, M. Zhaldak, Ye. Mashbyts, I. Osmolovska, Yu. Ramskyi, V. Rudenko, I. Pidlasyi, N. Symonenko, and V. Shapkin are engaged in the problem of innovative technologies in the context of vocational training. Professional training general

theoretical bases in the context of modern education were studied by V. Bezpalka, S. Honcharenka, O. Dubaseniuk, and P. Saukha.

N. Symonenko believes that during the specialists' preparation in higher education the application of innovative forms and methods should be organically combined with a pragmatic understanding of the training goals and objectives, he notes that innovative methods are reflected in many learning technologies aimed at the development and improvement of educational process and of specialists' preparation in various spheres of modern society life [7, p. 203-204]. According to I. Osmolovska, the basis of innovative educational technologies used in the educational process should be a social order, future specialists' professional interests, individual, personal characteristics of students [6, p. 184]. These and other studies make it possible to identify promising directions in the field of information and telecommunication technologies application in the educational process.

**Article goal:** innovative methods of teaching students analysis in the conditions of the information technologies development and information and telecommunication technologies industry. The actual problems of professional specialists' training are analyzed and ways of their solution are investigated. The types of innovative teaching methods in higher educational institutions are investigated. The role of information and social technologies in education is analyzed. The peculiarities of educational software tools are investigated. The directions of information technologies use in the educational environment are substantiated. The stated goal defined the tasks: to define the concept of pedagogical innovation as innovation in the field of pedagogy; to analyze modern information educational technologies; to identify promising directions in the field of information and telecommunication technologies application in the educational process (Fig. 1).

The theoretical and methodological basis of the research was the work of leading domestic and foreign



scientists and specialists in the field of improving and analyzing innovative teaching students' methods. General scientific methods were used in the work: comparison, generalization, formalization, analysis and synthesis.

The problem of computer technology use in the professional students' training of higher technical education institutions is closely linked to the process of education's informatization. Trends in the modern society development, its expressed informatization explain the need for the increasing use of information technology in the field of education.

Education's informatization is a process of providing the sphere of education with the theory and practice of modern information technologies use, which is focused on the psychological and pedagogical purpose of education realization.

The word "technology" has Greek roots and in translation means science, a set of methods and techniques for the processing of raw materials, semi-finished products, goods and its transformation into consumer items. Modern meaning of this word includes the application of scientific and engineering knowledge for solving practical problems. In this case, information and telecommunication technologies can be considered such technologies, which are aimed at processing and transformation of data.

Information and telecommunication technologies (ICTs) are a generalized concept that describes various methods, ways and algorithms for collecting, storing, processing, presenting and transmitting data. This definition purposely does not include the word "the use". The use of information and telecommunication technologies allows us to talk about another technology - the technology of the information and telecommunication technologies use in education, medicine, military affairs and many other fields of human activity, which is part of the informatization technologies. Each of these industries imposes its limitations and features on the information technology [12–25].

The system of general and vocational education, in spite of the expressed need for wider introduction of high educational technologies, is a catalyst for the process of society informatization, a tool for the formation of person's information culture, professionals' training of new formation. In Ukraine, in a fairly short period of time, there have been cardinal transformations, instead of the traditional education system, another system comes into existence, which has a setup for the formation of well-developed, creative person, adaptable to constants changes in the environment, able to orient in the flow of information, continuously develop its skills [26–29]. Implementation process analysis and use of computer technology in the educational process allows distinguishing three stages of informatization.

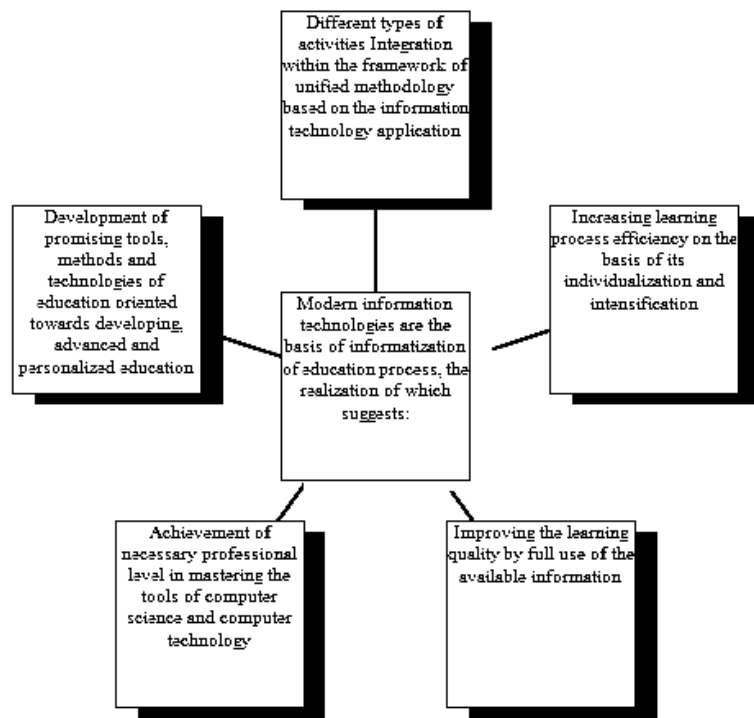


Fig. 1. Components of modern information technologies as the basis of informatization of education process

The second stage of education's informatization (mid 70-ies) is associated with the appearance of more powerful computers, software that has a convenient interface, and is characterized primarily by the use of human-to-computer interaction. Students as subjects of the educational process, for the first time, were able to work on a computer, interact with models - "users" of real objects and, most importantly, to manage the objects of study. In the education automated learning, knowledge control and learning management systems are increasingly used. The third, modern, stage of education's informatization is characterized by the use of powerful personal computers, high-speed large-capacity storage, new information and telecommunication technologies, multimedia technologies and virtual reality, as well as philosophical comprehension of the informatization process, and its social consequences.

Currently, the education system has developed the main directions of computer technology application in the educational process: the use in the learning process of automated systems and complexes, expert systems and decision support systems; development of information technologies oriented at further application in professional activity; the use of information technology as a didactic tool for the simulation of various objects and processes; increasing the creative component of educational and research activities.

Summarizing the scientific positions advocating the need for distance learning, we consider it possible to highlight the following aspects of positive aspects:

- availability, speed of knowledge obtaining, convenient time, without unnecessary economic and resource costs, the possibility of an individual pace of knowledge obtaining;
- humanization of educational space, which means access to education is received by people with special

needs, poor; distance form allows to combine continuous education with work, etc.;

- increasing global demand for education in a globalized economy;

- the possibility of profit: venture capital opened the distance education, which became a great business;

- the rate of innovation spreading, which "pushes" the market; accordingly, the amount of money invested in information technology will become bigger.

Characteristic features of distance education are flexibility (at a convenient time and in a convenient place), modularity (a separate course creates a complex idea of a particular subject area, which allows a set of independent module modules to form a curriculum that meets individual or group needs), economic, technological ability, social equality, internationality (the opportunity to receive education in educational institutions of foreign countries, without leaving their country and provide educational services to abroad), the new role of teacher, quality and so on [10].

Conceptual approaches to future specialists' training are based on the results of studying and forecasting the structure of social and production activities of specialists with higher education in the field of informational activity in accordance with the needs of the labor market, according to the specialist's requirements, according to which the content of education in this field is determined, that means that the concept of training a specialist is based on the model of a specialist development, the basis of which is the system; it is a social need, educational qualification characteristic (skills), educational professional program (knowledge), diagnosing means in the interrelationship and interdependence of all its components, combined with the definition of pedagogical conditions of specialists' training and the relevant practical approaches to their implementation.

Nowadays there is the emergence of new approaches, which occurs with some complications. Therefore, the attention should be devoted to this problem in particular. The term "informational society" was created by professor Yu. Khaiashi, who formulated its main paradigms concerning the formation of public relations on the basis of high-tech informational networks, that are operating on a global scale and are recognizing information as the basic social value of society. Capital is inferior to information, knowledge, and intelligence [10].

The informational society is the most developed technological production method of human civilization that arises as a result of the informational and computer revolution and is based on information technology, "intelligent" computers, automatization and robotization of all spheres and branches of economy and management, the only newest integrated system of communication. Therefore, the main features of the information society are the following: the transformation of information into the most important economic resource that is global in nature and provides with increased efficiency, growth of competitiveness and innovative development of business entities; increasing influence of information on all spheres of

human life, transforming it into the public consumption subject; intensive formation of the informational sector of the economy, which occupies a dominant position in a new society; the transformation of the information sphere into the foundation, the basis of all types of economic activity. The indicated signs illustrate the importance of the education sphere. So, if the previous industrial sphere recognized the production sphere as a basis and skilled labor, the globalized society determines education as the main feature of person and society's success. The informational society and education development are mutually complementary, mutually important phenomena. The basis of modern high-quality education is its informatization as a set of interrelated organizational, legal, political, socio-economic, scientific and technical, production processes, aimed at creating conditions for meeting the informational needs of citizens and society through the development and use of informational systems, networks, resources and technologies that are based on the application of modern computing and communication technology [9].

The level of teacher's readiness for distance education, the development of proper technological programs and their implementation at the university level, the accordance of scientific and methodological and technical support. Teachers of an educational institution must adhere to special requirements: they must have knowledge of the purpose, features, functioning of the telecommunication network; storage conditions and information transmission in the network; organization and implementation's features of telecommunication projects, teleconferences; methodical foundations for organizing the work of teachers and students in the network; the basic rules of user behavior in the network, the basis of telecommunication etiquette. Teachers and coordinators should be able to: work with e-mail, teleconferences, network information services; select and process information received from the network; to search information in the network; to prepare the information for the transmission in the network using a text editor, graphic editor and necessary services (archives, encoders); organize, develop and conduct a network project, teleconference [6, c. 371].

Secondly, a high level of information culture of educational services consumers. This is the possibility of students to use technical means. The indicated problem is connected with the more general informational culture of society. Today, significant progress has been made in Ukraine regarding the possibility of access to the Internet, but still such availability should be accompanied by computer literacy of users. An important trend today is that in the developed countries of the world a new, informational image of people is formed. The fact is that the informational space of society quickly creates people's new skills, stereotypes of behavior, new cultural demands and even new values. The new information environment changes the person himself, the whole lifestyle and professional activity. The amount of information increases exponentially in the Internet, "overdose of information" leads to misinformation [7, c. 7].

The informational global environment affects all spheres of public relations, but the educational sphere gets a dominant influence. It is stated that the classical forms of education should be conformed and adapted according to the requirements of the informational society. The main displays of education's informatization are defined: new means of obtaining knowledge, innovation of technical resources for obtaining information; strengthening of internal and international communication of the educational and scientific sphere; the formation of a new content of education and new forms of education, including distance education and virtual universities.

### Conclusions

One of the characteristic features of educational environment is the ability of students and teachers to freely access structured teaching materials and multimedia complexes. An opportunity for personal development and professional growth is important for

students, that is why today the need to use innovative teaching methods in the development of information and telecommunication technologies is growing. One of the definitions of the informational educational environment is formulating its understanding as an information system that integrates with the help of network technologies, software and hardware, organizational, methodological and mathematical support, aimed at increasing the efficiency and accessibility of the educational process of specialists' training.

The use of innovative teaching methods in the development of information and telecommunication technologies in the educational process of higher education provides the opportunity to significantly improve the quality of future specialists' training. The necessity of introducing innovative teaching methods in the conditions of the credit-module system in the process of professional specialists' training, using modern technological capabilities, requires further scientific developments and implementation.

### REFERENCES

1. Aristova I.V. State information policy: organizational and legal aspects / I.V. Aristova // Economic and Legal Library [Electronic resource]. - Access mode: [http://www.pravo.vuzlib.org/book\\_z1189\\_page\\_27.html/](http://www.pravo.vuzlib.org/book_z1189_page_27.html/)
2. Lepa N.N. Информационные технологии анализа данных / N.N. Lepa, R.N. Lepa, N.S. Tkachenko // Mathematical Models and Information Technologies in Socio-Economic and Ecological Systems: Materials of the Second International Conference. – Luhansk: Publisher East Ukrainian National University, 2010. – P. 196-199.
3. Lepa R.N. Информационные технологии в принятии управленческих решений / R.N. Lepa, Yu.Yu. Pyschenko // Economic problems and prospects for the stabilization of Ukraine's economy. - Donetsk: IIE NAS Ukraine, 2010. - P. 338-351.
4. Meliukhyn I.S. Forms of state regulation of informatization processes / I.S. Meliukhyn // [Electronic resource]. - Access mode: <http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/07a0d724f36c7688c3257711003e9e95>.
5. Ovcharov S. Actual problems of professional teachers of informatics training / S. Ovcharov // Collection of scientific works PNP. Sections: Pedagogical sciences. – Poltava: PNP, 2011. Ed. 2. – P. 73-77.
6. Osmolovskaia I.M. Innovation and pedagogical practice / I.M. Osmolovskaia // Public education. - 2010. - № 6. - P. 182-188.
7. Symonenko N.N. Management of educational services using innovative teaching methods / N.N. Symonenko // Pacific State University Bulletin. — 2012. — № 2. — P. 201—206.
8. Formation of English language skills of professional communication with the use of the latest information technologies [Electronic resource]. - Access mode: [http://osvita.ua/school/lessons\\_summary/edu\\_technology/24423](http://osvita.ua/school/lessons_summary/edu_technology/24423).
9. About the Concept of the National Program of Informatization: Law of Ukraine from 04.02.1998 № 75/98-BP // Verkhovna Rada of Ukraine. – 1998, № 27–28, Art. 182
10. I.Yu. Khomyshyn Principle of education's informatization in the conditions of globalization of society // [Electronic resource]. - Access mode: [file:///C:/Users/ASUS/Downloads/vnulpurn 2016 850 21%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ASUS/Downloads/vnulpurn%2016%20850%2021%20(1).pdf)
11. Pozhuyev V. I. Shlyakhy i napryamy formuvannya i realizatsiyi suchasnoho informatsiynoho suspil'stva v umovakh hlobalizatsiyi [Ways and directions of forming and implementing modern information society in the context of globalization]. Humanitarian Bulletin Zaporozhye State Engineering Academy. 2011. Vol. 46. pp. 5–18.
12. Крювонос О.М. Використання інформаційно-комунікаційних технологій в навчанні: навчальний посібник. – Житомир : Publisher Житомир Ivan Franko State University, 2012. – 182 p.
13. 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>.
14. Ruban, I., Kuchuk, H. and Kovalenko A. (2017), “Redistribution of base stations load in mobile communication networks”, *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No 1 (1), P. 75–81, doi: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>.
15. Kuchuk, G., Nechausov, S. and Kharchenko, V. (2015), “Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store”, *International Conference on Information and Digital Technologies, Zilina*, pp. 266-271, DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
16. Saravana Balaji B., Karthikeyan N.K., Raj Kumar R.S. Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation. *Computers & Electrical Engineering*, 2018. Vol. 69, P. 435-446, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.09.013>
17. Saravana Balaji B., Karthikeyan N.K., Raj Kumar R.S. Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation. *Computers & Electrical Engineering*, 2018. Vol. 69, P. 435-446, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.09.013>
18. Saravana Balaji B, Mohamed Uvaze Ahamed, Eswaran C, Kannan R, “Prediction-based Lossless Image Compression”, *Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics (Springer)*, Volume 30, No 1, 2019, pp.1749 – 17961, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00665-5\\_161](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00665-5_161)

19. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of TCP Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
20. Mohammed, A. S. Optimal Forecast Model for Erbil Traffic Road Data. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2017. Vol. 29, No 5. P. 137–145. DOI: <https://doi.org/10.21271/ZJPAS.29.5.15>
21. Gomathi B, Karthikeyan N K, Saravana Balaji B, “Epsilon-Fuzzy Dominance Sort Based Composite Discrete Artificial Bee Colony optimization for Multi-Objective Cloud Task Scheduling Problem”, *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*, Volume 13, Issue 1-3, 2018, pages 247-266, DOI: <https://doi.org/10.1504/IJBIDM.2018.088435>
22. Sivaram, M., Porkodi, V., Mohammed, A.S., Manikandan V. Detection of Accurate Facial Detection Using Hybrid Deep Convolutional Recurrent Neural Network. *ICTACT Journal on Soft Computing*. 2019. Vol. 09, Issue 02. pp. 1844-1850. DOI: [10.21917/ijsc.2019.0256](https://doi.org/10.21917/ijsc.2019.0256)
23. Sivaram M., Yuvaraj D., Amin Salih Mohammed, Porkodi, V., Manikandan V. The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2018. Vol. 8, iss. 2. pp. 95-100.
24. Кучук Г. А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, А.А. Янковский // Системи обробки інформації. – 2014. – № 7(123). – С. 93-96.
25. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1)– P. 75-81. – DOI : <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075>.
26. Donets, V., Kuchuk, N. and Shmatkov, S. (2018), “Development of software of e-learning information system synthesis modeling process”, *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No 2, pp. 117–121, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20>.
27. 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>
28. Perstok T. M. Dystantsiyna osvita: modernizatsiya shkil'noyi osvity orhanamy mistsevoho samovryaduvannya [Distance education:modernization of school education by local authorities]. 2014. T. 15. Vol. 291. pp. 366–375.
29. Pozhuiev V.I. Ways and directions of formation and realization of modern information society in globalization / V.I. Pozhuiev // Bulletin of Zaporizhzhya State Engineering Academy. – 2011. – Ed. 46. – P. 5–18.

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. О. В. Шефер,

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

Received (Надійшла) 23.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

### Сучасні інформаційні технології як основа процесу інформатизації освіти

А. М. Гафіяк, С. П. Альошин, О. О.Бородіна, А. О. Дяченко-Богун

Стаття присвячена аналізу і дослідженню інноваційних методів навчання студентів в умовах розвитку індустрії інформаційних технологій. Проаналізовано актуальні проблеми професійної підготовки фахівців в умовах розвитку інформаційного суспільства та досліджено шляхи їх вирішення. Проаналізовано роль інформаційних технологій в закладах вищої освіти. На даний час основними напрямками в навчальному процесі є використання автоматизованих систем і комплексів, експертних систем і систем підтримки рішень, освоєння інформаційних технологій з використання інформаційних технологій для моделювання різних об'єктів і процесів. Досліджено види інноваційних методів навчання з використанням сучасних технологій. На цьому етапі використовують потужні персональні комп'ютери, нові інформаційні та телекомунікаційні технології. Досліджено особливості технічних та програмних засобів навчального призначення. Одними із особливих засобів навчання є доступність, швидкість отримання знань у зручний час, можливість індивідуального темпу набуття знань. Обґрунтовано напрямки використання інформаційних технологій у навчальному середовищі.

**Ключові слова:** програмні засоби, інноваційні методи навчання, інформаційні технології, педагогічні інновації.

### Современные информационные технологии как основа процесса информатизации образования

А. М. Гафияк, С. П. Алёшин, Е. А. Бородина, А. О. Дяченко-Богун

Статья посвящена анализу и исследованию инновационных методов обучения студентов в условиях развития индустрии информационных технологий. Проанализированы актуальные проблемы профессиональной подготовки специалистов в условиях развития информационного общества и исследованы пути их решения. Проанализирована роль информационных технологий в учреждениях высшего образования. В настоящее время основными направлениями в учебном процессе является использование автоматизированных систем и комплексов, экспертных систем и систем поддержки решений, освоение информационных технологий по использованию информационных технологий для моделирования различных объектов и процессов. Исследованы виды инновационных методов обучения с использованием современных технологий. На этом этапе используют мощные персональные компьютеры, новые информационные и телекоммуникационные технологии. Исследованы особенности технических и программных средств учебного назначения. Одними из особых средств обучения является доступность, скорость получения знаний в удобное время, возможность индивидуального темпа приобретения знаний. Обоснованы направления использования информационных технологий в учебной среде.

**Ключевые слова:** программные средства, инновационные методы обучения, информационные технологии, педагогические инновации.

М. А. Голованова, Д. С. Голованов

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

## ЗАСТОСУВАННЯ ЛАНЦЮГ МАРКОВА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МІСТКОСТІ РИНКОВИХ СЕГМЕНТІВ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПОВЕДІНКИ ПОКОЛІНЬ СПОЖИВАЧІВ

Проблема вдосконалення методів дослідження споживачів і розроблення принципово нових поточних і майбутніх прогнозів попиту підвищеної якості з урахуванням споживацької поведінки і ефективного управління нею в умовах цифрової трансформації суспільства є актуальною і маже зовсім невирішеною. Аналіз математичних моделей прогнозування попиту та прогнозування місткості ринку показав, що моделі, як правило, базуються на виявленні загальних і стійких закономірностей та зв'язків, аналізу тенденцій та їх екстраполяції. Розроблення економіко-математичних моделей з урахуванням факторів турбулентного середовища поведінки різних поколінь споживачів потребує відповідного математичного апарату, механізмів збору статистичних даних та побудови відповідних моделей. Особу увагу слід приділяти прогнозуванню споживчої поведінки так званого «Покоління Z», яка формується під впливом інтенсивного розвитку цифрових технологій та має низку особливостей. В умовах коли більшість товарів на сучасному ринку представлено декількома виробниками, великою кількістю товарних марок, а стимулювання збуту з боку виробників та продавців мають стрибкоподібний характер, при цьому реакція покупців на той чи інший товар залежить від безлічі факторів, прогноз обсягів збуту може ґрунтуватися на статистичній оцінці зміни уподобань споживачів до продукції окремих видів і виробників. До евристичних методів прогнозування частки ринку товару можна віднести метод споживчої оцінки з використанням ланцюгів Маркова, в основі якого лежить обчислення матриці переходу, елементами якої є ймовірності переходу прогнозованих параметрів з одного стану в інший, від одної товарної марки до іншої. Економіко-математичне моделювання місткості ринкових сегментів з використанням ланцюгів Маркова має нескладні розрахунки, є простим у застосуванні, має можливість відстежити тенденції і причини змін при дослідженні динаміки попиту різних сегментів ринку.

**Ключові слова:** місткість ринку, частка ринку, цифрова трансформація поведінки споживачів, покоління Z, економіко-математичне моделювання, прогноз, попит, ланцюги Маркова, матриця ймовірностей переходів.

### Вступ

В умовах жорстокої боротьби за споживачів та трансформації споживчих переваг відбувається активізація маркетингової політики компаній. Зміна переваг споживачів під впливом факторів макросередовища носить турбулентний характер, а величезна роль в активізації таких процесів належить, з одного боку, кризовим явищам в суспільстві, а з іншого – змінам у способі життя сучасної людини під цифровим впливом. Такі процеси вимагають підвищення надійності та обґрунтованості прогнозів попиту на основі маркетингових досліджень з використанням сучасних інформаційних технологій та великих баз даних (Big Data), постійного моніторингу поведінки споживачів, якісної та кількісної її аналітики. Цифрова трансформація факторів зовнішнього бізнес-середовища, зростання кількості товарів і товарних груп за умови лавиноподібного зростання інформаційних потоків про товари призводять до нестандартних рішень в поведінці споживача і складності прогнозування. Все частіше, прогнози, які засновано на дослідженнях споживачів та на попередній динаміці ринку, мають значні розходження з реальною поведінкою самих споживачів.

У зв'язку з цим виникає проблема знаходження способів вдосконалення методів дослідження споживача і розроблення принципово нових поточних і майбутніх прогнозів підвищеної якості щодо купівельної поведінки споживачів.

Вивчення поведінки споживачів є останнім часом одним з провідних напрямків у маркетингу і економіці, знайшло відображення у працях таких

зарубіжних і вітчизняних вчених, як Р. Дж. Аллен, Л. Вальрас, Т. Веблен, К. Менгер, У. С. Джевонс, А. Маршалл, П. Самуельсон, В. Парето, Е. Енгель, Л. Тьорквінст, Дж. Р. Хікс, Дж. Ховард, Н. Шет, О. В. Зозульов, М. А. Окландер, Х. Хау-Таккер, С. Афріат, Х. Веріан, Г. С. Поспелов, В. Леонтєв, Л. І. Абалкін, І. В. Бестужев-Лади, Н. Малхотра, Г. Тейл, Х. Шуман, К. Дж. Ерроу.

Однак, у зазначених вище роботах недостатньо опрацьовано методичні питання прогнозування місткості ринків та ринкових сегментів, часто фрагментарно або дуже агреговано подано фактори, що її визначаються. Теоретичні та практичні проблеми прогнозування місткості потребують осмислення з урахуванням зміни поколінь та викликів з боку основних груп споживачів. Слід зазначити, що сьогодні існує багато економіко-математичних методів розрахунку місткості ринку, при цьому універсальних немає. Вище сказане обумовило вибір теми даної статті, а саме – дослідження питання розроблення моделей прогнозування місткості ринку і ринкових сегментів з урахуванням поведінки споживачів в умовах цифрової трансформації суспільства.

### 1. Сучасні підходи, фактори та математичні моделі визначення місткості ринку та ринкових сегментів

Повсюдний розвиток цифрових технологій, електронної комерції, впровадження різних гаджетів в наше життя приводить до змін в поведінці споживачів та появи споживачів нового покоління – так званих «цифрових» споживачів. Математичне моделювання поведінки споживачів було і залишається



однією з важливих частин аналізу споживчої поведінки. Актуальність моделювання поведінки споживачів обумовлена необхідністю прогнозування споживачької поведінки і ефективного управління нею в процесі придбання товарів. Існуючі сьогодні моделі не дають змогу враховувати нові специфічні фактори нового покоління споживачів, які не уявляють життя, комунікації, купівлю без електронного середовища. У зв'язку з цим для досягнення ефективності впровадження маркетингових інструментів потрібна математична модель, яка надасть змогу враховувати особливості поведінки сучасних поколінь споживачів під впливом ефекту зміни споживчої цінності багатьох товарів, скорочення термінів їх служби та застосування цифрових технологій в процесі споживчого вибору.

Аналіз математичних моделей прогнозування попиту та прогнозування місткості ринку розглянуто в ряді робіт, які, як правило, базуються на виявленні загальних і стійких закономірностей та зв'язків, аналізу тенденцій та їх екстраполяції. Прогноз на основі рядів динаміки дає хороші результати, якщо за аналізований період часу в об'єкті відбувалися еволюційні зміни (тобто безперервні), а не стрибкоподібні. Слід зазначити, що застосування будь-якого методу окремо не дає змоги забезпечити комплексний підхід, підвищити точність прогнозу, що може призвести до підвищення ступеню ризику прийняття управлінських рішень щодо напрямку розвитку діяльності підприємства. Серед основних факторів, що визначають змінення місткості ринку певної групи товарів, слід ураховувати насамперед такі [1, 2]:

- змінення розміру середньодушового доходу;
- змінення середньоринкового рівня цін на розглядувану групу товарів відносно рівня цін на інші групи товарів і послуг;
- ступінь значущості конкретного виду товарів і послуг для споживачів, який обумовлено необхідністю конкретної групи продукції для задоволення потреб, що знаходяться на різних ієрархічних сходинках;
- ранжування різних груп товарів і послуг за ступенем значущості для споживачів, що дає змогу встановити черговість їх придбання при змінні інших розглядуваних факторів споживання продукції;
- визначення вагових коефіцієнтів значущості товарів (товарних груп) для споживачів;
- обґрунтування різного впливу рівня середньодушових доходів і середнього рівня цін на величину місткості ринку.

Описати стан ринку, его окремих сегментів, частки товарних марок можна, використовуючи таку систему показників, яка складається з 3-х груп [1, 3].

### 1. Показники продажів

*Обсяг продажів конкретної марки (обсяг продажів у кількісному вираженні)*

$$Q_i = Q_i^{nn} - Q_i^{kn} + Q_i^T, \quad (1)$$

де  $Q_i^{nn}$  – кількість товару на складі на початок періоду;  $Q_i^{kn}$  – залишок товару на складі на кінець періоду;  $Q_i^T$  – закупівлі, зроблені торговельною точкою за період.

*Частка продажів конкретної марки стосовно загальних продажів товарів певної категорії (у кількісному вираженні), %:*

$$v_Q = (Q_i/Q) \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $Q_i$  – кількість продажів певної марки;  $Q$  – сумарна кількість продажів всіх марок товару.

*Обсяг продажів певної марки у вартісному вираженні*

$$Q_{Pi} = Q_i \overline{P}_T, \quad (3)$$

де  $Q_i$  – кількість продажів певної марки за період  $T$ ;  $\overline{P}_T$  – ціни на цю марку в досліджуваному періоді.

*Частка продажів певної марки відносно загальних продажів товарів певної категорії (у вартісному вираженні)*

$$v_P = (Q_{Pi}/Q_P) \cdot 100\%, \quad (4)$$

де  $Q_{Pi}$  – кількість продажів конкретної марки у вартісному вираженні;  $Q_P$  – сумарна кількість продажів всіх марок товару у вартісному вираженні.

### 2. Показники доступності ринку.

*Коефіцієнт розподілу товару певної товарної марки по торговельній мережі*

$$\zeta_i = (Z_i/Z) \cdot 100\%, \quad (5)$$

де  $Z_i$  – кількість магазинів, у яких є товар певної марки;  $Z$  – загальна кількість магазинів певного типу, де споживач зазвичай купує цей тип товару.

*Числовий розподіл*, що є показником інтенсивності розподілу, %:

$\zeta_{X(Y)} \rightarrow 1$ , збут стає інтенсивнішим;  $\zeta_{X(Y)} = 1$  – повне покриття ринку (повне охоплення ринку)

$$\zeta_{X(Y)} = (Z_{X(Y)}/Z_X) \cdot 100\%, \quad (6)$$

де  $Z_{X(Y)}$  – кількість торговців у роздріб марки  $Y$  товару  $X$ ;  $Z_X$  – кількість торговців товаром  $X$ .

*Зважений розподіл*, що є показником того, яка частка в загальному товарообігу припадає на продажі торговельних точок, що додають до своїх асортиментів марку фірми, і відображає відносне покриття ринку

$$\phi_{X(Y)} = (Q_{X(Y)}/Q_X) \cdot 100\%, \quad (7)$$

де  $Q_{X(Y)}$  – загальний обсяг продажів товару  $X$  торговцями в роздріб, які продають марку  $Y$ ;  $Q_X$  – загальний обсяг продажів товару  $X$ .

*Індикатор вибору:*

$\gamma_{X(Y)} > 1$  – виробник працює з малою кількістю великих посередників, але продажі їхніх товарів становлять більшу частку в загальному товарообігу;  $\gamma_{X(Y)} < 1$  – виробник працює з великою кількістю дрібних торговельних посередників, продажі товарів яких – незначна частка в загальному товарообігу.

$$\gamma_{X(Y)} = (\overline{Q_{X(Y)}}/\overline{Q_X}) \cdot 100\% = \phi_{X(Y)}/\zeta_{X(Y)}, \quad (8)$$

де  $Q_{X(Y)}$  – середній обсяг продажів товару  $X$  у магазинах, що торгують маркою  $Y$ ;  $Q_X$  – середній обсяг продажів товару  $X$  по всіх торговцях у роздріб.

*Середня частка в обороті*, що є показником того, яку позицію займає конкретна марка в обраних магазинах, і може розглядатися як частка ринку марки  $Y$  у обороті продукту  $X$  у вибраних магазинах

$$\Theta_{X(Y)} = (Q_{X(Y)} / Q_X) \cdot 100\%, \quad (9)$$

де  $O_{X(Y)}$  – оборот марки  $Y$  продукту  $X$  у вибраних магазинах;  $O_X$  – загальний оборот продукту  $X$  у вибраних магазинах.

*Доступність марки на ринку:*

$$D = \zeta_{X(Y)} \gamma_{X(Y)} \Theta_{X(Y)}, \quad (10)$$

або 
$$D = \phi_{X(Y)} \Theta_{X(Y)}. \quad (11)$$

### 3. Показники частки ринку.

*Частка ринку торговельної марки*

$$D_{TM_i} = (Q_{TM_i} / \sum Q_{TM_i}) \cdot 100\%, \quad (12)$$

де  $Q_{TM_i}$  – кількість проданого товару певної торговельної марки;  $\sum Q_{TM_i}$  – загальна кількість проданого товару на певному ринку.

*Частка обслуговуваного ринку*

$$D_{market_i} = (Q_{TM_i} / \sum Q_{market_i}) \cdot 100\%, \quad (13)$$

де  $\sum Q_{market_i}$  – загальна кількість проданого товару на обслуговуваному ринку.

*Відносна частка ринку* (порівнюється з часткою ринку конкурента)

$$D_{відн_i} = (Q_{TM_i} / \sum Q_{k_i}) \cdot 100\%, \quad (14)$$

де  $\sum Q_{k_i}$  – загальна кількість товару, проданого конкурентом.

*Структурована частка ринку торговельної марки* (частка ринку торговельної марки на ринку товарів певної категорії)

$$D_{XC_i} = (Q_{XX_i} / \sum Q_{CC_i}) \cdot 100\% = L_p L_b L_i, \quad (15)$$

де  $Q_{XX_i}$  – кількість товарів марки  $X$ , придбаних прихильниками марки;  $\sum Q_{CC_i}$  – кількість товарів певної категорії, придбаних усіма покупцями;  $L_p$  – рівень проникнення;  $L_b$  – рівень ексклюзивності;  $L_i$  – рівень інтенсивності.

*Частка ринку торговельної марки в певний період часу*

$$D_{TM_{t+i}} = L_a D_{TM_t} + L_d (1 - D_{TM_t}), \quad (16)$$

де  $D_{TM_t}$  – частка ринку торговельної марки в момент часу  $t$ ;  $L_a$  – рівень прихильності;  $L_d$  – рівень залучення.

*Рівень проникнення*

$$L_p = N_X / N, \quad (17)$$

де  $N_X$  – кількість покупців марки  $X$ , що купують товари певного асортименту, до якого належить ця марка;  $N$  – загальна кількість покупців.

*Рівень ексклюзивності* (міра прихильності, що виявляється до марки  $X$  за умови, що в покупців є можливість різноманітиту свої покупки й купувати різні марки в цій категорії товарів)

$$L_b = q_X / q_{прихильн_X}, \quad (18)$$

де  $q_X$  – кількість купівель товару певної марки  $X$ ;  $q_{прихильн_X}$  – сумарна кількість купівель усіх марок товару прихильниками марки  $X$ .

*Рівень інтенсивності*

$$L_i = (\sum Q_X / N_X) / (\sum Q / N) = \overline{Q_{N_X}} / \overline{Q_N}, \quad (19)$$

де  $Q_{N_X}$  – середня кількість товарів, що купує покупець марки  $X$ ;  $Q_N$  – середня кількість товару певної категорії, що купується на одного покупця.

Більшість з наведених формул визначення місткості ринку на жаль не знаходять у практиці роботи підприємств широкого розповсюдження, при цьому вони мають цілу низьку значних переваг: є наочною ілюстрацією основного положення на ринку різних категорій товарів; дають змогу визначити частку певної марки на ринку; дають змогу оцінити, як представлено товарні марки певних виробників порівняно з марками конкурентів; є показником рівня розподілу й відсутності товарів на складі в роздрібній торгівлі; дають змогу виявити нові можливості розвитку; дають змогу оцінити конкурентну активність; допомагають знайти оптимальні шляхи використання ресурсів для найкращого розподілу й просування продукту; допомагають виявити на ринку й оцінити погрози від нових конкурентів; допомагають розробити комплексний підхід до проблеми.

Наряду з перевагами слід зазначити деякі і недоліки їх застосування: збір даних може забрати багато часу; можливі великі фінансові витрати; за допомогою наведених формул неможливо спрогнозувати подальший розвиток ринку; формули зовсім не враховують ні які характеристики споживачів, а є констатуючими показниками факту продажів товарів або торговельної марки.

На ранній стадії виведення товарів на ринок для прогнозування місткості ринку і ринкових сегментів можна застосувати аналіз Парфітта-Колінса, який дає змогу оцінити потенційну частку ринку для товарів широкого споживання з використанням мультиплікатора таких показників: кумулятивна ступінь поглиблення; відсоток повторного споживання; інтенсивність використання [4].

В роботі Ю. В. Логіновичою [5] було проведено аналіз існуючих математичних моделей поведінки споживачів. Так Б. Ліпстейн підкреслив особливе значення впливу реклами на вибір споживача і його лояльність [6]. Опис моделі поведінки споживачів і аналіз стимулів, які впливають на споживачів в процесі вибору товару розглянув в своїй роботі С. Т. Чарльз [7]. Комунікації названі основним стимулом у розвитку ринків і прогнозуванні поведінки

споживачів. Модель будується на чотирьох основних компонентах: стимули, увагу, мотивація і покупка. Береснев В.Л., Сулов В.І. при побудові математичної моделі враховували три стадії прийняття рішення споживачем [8]. А.М. Семіглазов, В.А. Семіглазов, К.І. Іванов визначили, що математична модель дає можливість з високою точністю прогнозувати економічну ефективність впливу реклами на споживача в процесі вибору товарів [9]. І.Б. Кашіріна, В.Г. Мисник у регресійній моделі попиту враховують вплив соціальних і демографічних чинників на прогнозування поведінки споживачів [10]. С. Пател А. Шліжпер враховували психологічні особливості поведінки споживача при купівлі в ймовірнісній моделі, до складу якої входять ефекти, які відображають вказані особливості [11].

Як показують дослідження, обсяги продажів після реклами або появи нового товару можуть змінюватися в разі, мати стрибкоподібну динаміку. Поряд з цим процеси, які описано більшістю часових рядів, повинні мати деяку інерцію. А поведінку покупців, особливо на ринку товарів повсякденного попиту, не можна назвати постійною. У реальності основна маса споживачів схильна до випробувань та використання то одних, то інших видів однорідних товарів.

Ю.В. Логіною також було запропоновано моделі, що описують поведінку споживачів на ринку товарів і послуг та впливають на споживчий вибір, це: 1) складна ймовірнісна модель поведінки споживачів; 2) математична модель, що враховує ефект мінімізації жалю; 2) математична модель, що враховує ефект оцінки важливості властивостей товару. Автором було отримано також складну ймовірнісну модель, яка враховує психологічні особливості споживачів при виборі товарів та основні акценти споживчої поведінки. Однак, в моделі не було враховано той факт, що і виробники, і покупці можуть змінювати свою поведінку, а виробники можуть впливати на поведінку споживачів. Вказану модель побудовано на припущенні, що поведінка всіх покупців без винятку залишається незмінною і ймовірності купівлі є зафіксованими.

## 2. Вплив цифрових технологій маркетингу і особливостей покоління Z споживчий вибір

З початку 90-х років ХХ століття, періоду кризи маркетингу, в силу понадтурбулентності зовнішнього середовища, появи нових технологій, що дають змогу швидко отримувати і обробляти різноманітні дані, багато дослідників ринку прийшли до висновку, що ні якісні, ні кількісні дослідження не надають можливості точно прогнозувати розвиток ринків, тому що не встигають за змінами і пропозиціями з боку виробників і за потребами споживачів.

У міру того, як світ зростає і змінюється, мають змінюватися процеси ведення бізнесу і впливу на споживача. Навіть ті підходи до бізнесу та просування товарів і послуг, які були актуальними ще останніх 10 років, раптово стають малоефективними або взагалі перестають працювати. Як і у випадку з цифровими досягненнями, зміни відбуваються з кожним

новим поколінням. Сьогодні конструкція впливу на споживача змінюється на основі нових впливаючих факторів і подій, які одночасно викликають ефект важеля: [12]: цифрові дані (багато актуальної інформації існує в режимі реального часу та генеруються нові джерела даних (наприклад, за допомогою датчиків в смартфонах, планшетах, інших цифрових пристроях); прозорість через мережу (через ці нові дані можна побачити прозорі і зміщені в часі процеси, можливий зв'язок між усіма залученими сторонами); цифровий доступ клієнтів (зростаючі очікування клієнтів щодо самообслуговування надали змогу керувати даними клієнтів, урахувавши інтереси клієнтів); модуляризація виробництва (виробничі процеси можна поділити на дрібні компоненти і на окремі незалежні модулі з доданою вартістю; вони також можуть бути надані незалежним зовнішнім суб'єктом); зміна в вертикальному ланцюжку створення вартості (вертикальний потік інформації і даних між продажами, дослідженнями і розробками, виробництвом і логістикою гармонізується з допомогою відповідних ІТ-систем. Це дає змогу задовольнити потребу в окремому варіанті продукту за допомогою змінення обсягів виробництва або варіантів виробництва на основі аналізу даних; зміни в горизонтальному ланцюжку створення вартості: спрощені потоки інформації і товарів дають змогу здійснювати стратегічне управління; автоматизація: машини можуть зв'язуватися один з одним і таким чином виявляти вузькі місця, вказувати на помилки або навіть усувати їх.

У роботах В. Штрауса (William Strauss) і Н. Хоуа (Neil Howe) [13, 14] було доведено, що люди з різних поколінь, які досягли певного віку все одно поведуться по-різному. Причиною відмінностей в поведінці, як вони стверджують, є базові, глибинні цінності і орієнтири всього покоління в цілому, які формуються в дитинстві (до 12-14 років). Саме до цього віку у людини відбувається формування власної системи цінностей, яка і залишає відбиток на всій майбутнього життя.

Можна виділити такі покоління сучасності [15]:

– «Покоління G1» (1900–1923), представників цього покоління вже майже не залишилося на цьому світі;

– «Мовчазне покоління» (1923–1943), якому зараз понад 70 років; назва ця походить від неухильного дотримання норм і законів; вони консервативні, ощадливі, купують і зберігають продукти «про запас»;

– «Покоління Бебі-бумерів» (1943–1963) – це покоління з психологією переможців; воно названо так за бум народжуваності післявоєнних років, приблизний вік 56–70 років; люди, які належать до цього покоління, приділяють велику увагу своєму здоров'ю, правильному харчуванню, якісним продуктам, яких не було в роки їх дитинства; однією з ключових цінностей є оптимізм, командний дух, культ молодості;

– «Покоління X» (1963–1980) – це покоління самостійних дітей, їх вік становить сьогодні 38–55 років; піклуються про своє здоров'я; для них важлива можливість вибору, індивідуалізм, готовність до змін;

– «Покоління Y» або «Millennials» (1981–1995) перебуває у віці 23-38 років; вони роблять ставку на моду, стежать за своїм зовнішнім виглядом, тому вва-

жають за краще здорову їжу, але мало звертають увагу на те, з чого зроблений продукт; їх балували з дитинства; їх цінностями є мораль, громадянський обов'язок, відповідальність, товарищескість і впевненість в собі;

– «Покоління Z», «Generation Z», «Gen Z» або «Centennials» (з 1996 або 2000 (за даними різних досліджень) і по теперішній час) – це покоління, яке



Рис. 1. Чисельність поколінь в Україні, млн чол.

Таким чином з точки зору інтересу маркетингу можна розглядати 4 сформованих покоління (віком від 14 до 90 років), і покоління Z, цінності якого ще формуються, але при цьому становлять значний інтерес для вивчення і прогнозування. Хоча «Millennials» є домінуючим за розміром поколінням, яке народилося в епоху інформації, то «Gen Z» – це епоха автентичності. Старші з цього покоління – це випускники коледжу, а в найближчі роки і університету, це покоління, яке скоро стане частиною робочого світу, а значить, і основним сегментом споживачів. Компанії починають зміщувати свою увагу на визначення цього нового покоління, щоб вони могли стати більш значущими для них. Ніде це не так очевидно, як у маркетингу. Зараз основну увагу маркетологів в розвинених країнах світу зосереджено на дослідженні та вивченні споживчої поведінки «Покоління Z» як одного з найбільш перспективних сегментів сучасного споживчого ринку. Відповідно до даних Укрдержстату [16] Сьогодні чисельність цієї вікової когорти в Україні становить біля 10 млн чоловік і має тенденцію приросту близько 400 тис. чол. на рік. Відповідно до результатів досліджень, проведених Forbes у 2015 р. і Nielsen у 2016 р «Покоління Z» склало більше 25 % загальної маркетингової аудиторії США [17].

Розглянемо особливості купівельної поведінки «Покоління Z». Представники цього покоління мають більше особистого простору, ніж їх попередники; вони знаходять відповіді на питання стосовно їх проблеми в інтернеті і більш зосереджені на самих собі. Незважаючи на шанобливе ставлення до своїх батьків, вони є менш від них залежними. В результаті це покоління з підліткового віку є набагато самостійнішим і менш керованим, відрізняється більш високим рівнем самоповаги. Покоління Z не сприймає авторитарного стилю взаємовідносин з боку державних, освітніх і комерційних структур і їхніх представників. Це покоління сформувалося з переконанням, що дорослі нічим не кращі за них. Вони визнають авторитет викладача, керівника лише в тому випадку, коли самі цінують його професійні та особисті якості [18]. В результаті особливостей первинної соціалізації у «Покоління Z» сформувався своєрідний комплекс потреб, що вимагає спеціального вивчення.

поки формується, і будь-які прогнози щодо їх ключових цінностей носять імовірнісний характер.

Чисельність розглянутих вище поколінь сучасної України наведено на рис. 1, кожне з найбільш активних поколінь X, Y і Z складають порядку 10 млн чол., а в структурі кожне з цих поколінь займають чверть.

Можна зазначити такі найбільш значущі потреби «Gen Z». На одному з перших місць в ієрархії потреб цього покоління багатьма авторами виділяється якісно нова потреба в отриманні інформації, вимога миттєвого доступу до інформації [19]. «Покоління Z» більшою мірою орієнтоване на задоволення соціальних, пізнавальних та естетичних потреб. Для них є важливою потреба в спілкуванні, оскільки саме це покоління зросло в умовах фактично цілодобового спілкування зі своїми друзями і близькими; значимим є потреба в безпеці; прагнення до стабільності, спокою і комфорту [17, 20]. З більш раннього віку представники «Покоління Z» є орієнтованими на самореалізацію і самоактуалізацію, досягнення успіху і соціального визнання, для них потрібна впевненість в тому, що б знайти своє місце соціумі. «Покоління Z», як споживачі, є добре поінформованими, вимогливими до якості товарів і послуг, скептично ставляться до реклами та маркетингу, цінують дизайн, якість, атмосферу, швидкість обслуговування. Останнім часом серед маркетологів все частіше виникає питання формування нової парадигми вивчення споживача, що інтегрує різні концепції дослідження окремих елементів споживання, в цілісний підхід, в якому споживач розуміється як єдиний цілісний суб'єкт, а дослідник отримує можливість досліджувати не окремо соціальні, особистісні або тілесні реакції споживача, його свідомість, а оперує методологією і методикою, що дає змогу досліджувати прояви споживача в їх взаємозв'язку і взаємовпливі.

Питанням інвестування в цифровий маркетинг для «Generation Z» останнім часом приділяється досить багато уваги. Так, комерційна фірма «Criteo» представила результати звіту щодо глобального дослідження «Gen Z», яке засновано на опитуванні 940 представників цього покоління у Сполучених Штатах, Великобританії, Франції, Німеччини, Бразилії та Японії. Ключові теми дослідження включали питання, щодо мотивації молодих людей купувати, щодо очікувань від роздрібних продавців, а також щодо ролі, яку відіграють смартфони і соціальні мережі. Було виявлено чинники, які підкреслюють важливість інвестицій в цифровий маркетинг для покоління Z.

«Покоління Z» володіє все більш помітною купівельною спроможністю: в середньому витрачає

(протягом шести місяців) на споживчу електроніку – \$220 (США) онлайн і \$169 офлайн, на одяг – \$188 в Інтернеті і \$177 в автономному режимі; для іграшок – онлайн \$161 та офлайн \$131 [17].

У своєму прагненні бути більш автентичним, «Покоління Z» використовує цифрове простір нашого життя, щоб відобразити свій ідеал – бути самим собою по-справжньому, без нав'язаних стереотипів з боку різних брендів. необробленим без полірованих фасадів, представлених в більшості маркетингових кампаній.

У 2014–2016 рр. було проведено ряд масштабних досліджень особливостей споживчої поведінки «Generation Z», зумовлених специфікою загальної та споживчої соціалізації цього покоління, – дослідження NRF, «Young & Younger» (агентство MAGRAM Market Research спільно з міжнародним комунікаційним агентством PBN Hill+Knowlton Strategies). В результаті було отримано такі дані: «Покоління Z» (27 %) охочіше купує новинки, якщо, звичайно, дозволяє ціна, яку оцінює 39 % респондентів. Варто відзначити, що 47 % всіх опитаних звертають увагу на інноваційні розробки брендів, навіть якщо це маркетинговий хід виробника. Покоління Z (40 %) більше орієнтується на іноземні бренди, при виборі одягу, взуття, електроніки і книг; вважає за краще витратити на спортивні товари (15 %), відеоігри, а «Покоління Y» надає перевагу косметичці (21 %), продуктам харчування (17 %). У всіх випадках споживачі «Gen Z» вивчають товари, які збираються придбати 57 % [19, 23, 24, 25] (Dan Schawbel; Jaqueline Crowe; Kyle O'Brien; Maria Vobila). Кожен другий представник купує в іноземних онлайн-магазинах (eBay, AliExpress, Asos та ін). Спонтанні покупки роблять 44 % Z-покоління, оскільки для них відвідування торгово-розважальних центрів – це одна з форм проведення дозвілля – тому вони ще вважають за краще робити покупки в магазинах.

Представники «Gen Z» лідирують за показником часу, проведеному онлайн (в середньому 11 годин на тиждень, не включаючи роботу і електронну пошту). Що стосується використання соціальних мереж – то 49 % використовують Instagram кілька разів на день, а 43 % використовують Snapchat кожен день. Facebook залишається як і раніше на першому місці (59 %), а Твіттер є менш актуальним – 23 %.

Розглянемо основні соціально-психологічні особливості цього покоління, а саме: обізнаність, «технічна ефективність», активне використання інтернет-ресурсів, командна робота, соціальна відповідальність, критичне мислення. «Покоління Z», як споживачі є добре поінформованими, вимогливими до якості товарів і послуг, скептично ставляться до реклами і маркетингу, цінують дизайн, якість, атмосферу, швидкість обслуговування.

Слід зазначити, що «Покоління Z» довго перебувало як би в «тіні» «Покоління Y», яке є самим вивченим поколінням споживачів за всю історію маркетингових досліджень. І тільки досягнувши старшого підліткового віку, покоління Z звернуло на себе пристальну увагу маркетологів усього світу, так як з'ясувалося, що його представники мають відмінні риси в порів-

нянні з попередніми поколіннями споживачів. В даний час купівельна спроможність покоління Z поки є невеликою і складає в США 44 млрд доларів [20, 24] (Deborah Higa; Kyle O'Brien). Однак їх здатність впливати на впізнаність і визнання брендів набагато вище. Дорослі в наші дні часто прислухаються до думки підлітків при ухваленні рішення про купівлю – особливо це стосується придбання цифрової техніки [17].

### 3. Економіко-математичне моделювання місткості ринкових сегментів з використанням ланцюгів Маркова

Як бачимо, споживання товарів «Поколінням Z» має низку особливостей. В умовах коли більшість товарів на сучасному ринку представлено декількома виробниками; кожне підприємство-виробник може випускати різні види однорідної продукції, проводити активні кампанії з стимулювання продажів, обсяги продажів в майбутньому можуть залежати одночасно і від зміни реакції покупців на продукт, і від досвіду покупців у використанні продукції інших видів, і від надходження на ринок товарів-новинок, а прогноз обсягів збуту може ґрунтуватися на статистичній оцінці зміни уподобань споживачів до продукції окремих видів і виробників. Через споживання різноманітних брендів сучасна людина показує світові свою індивідуальність, свій емоційний настрій, визначає і підкреслює свою приналежність до певної соціальної групи, дистанціюється від соціальних груп та індивідів, з якими не хоче асоціюватися.

Як відомо, наша поведінка при купівлі є емоційною, а при цьому є враження, що це – раціональні рішення але це тільки спроби раціоналізації наших емоцій. Проте, рішення про купівлю може прийматися як на основі попереднього раціонального вибору, на основі оцінювання інших товарів після їх разового або багаторазового випробування, так і емоційно, імпульсивно і несвідомо, під впливом реклами, громадської думки тощо. Тому змінення переваг споживачів можна розглядати як випадковий процес, в якому спостерігається певний вплив попередніх подій на наступні. Подібні процеси визначаються як Марківські. Для них ймовірність знаходження в певному стані (тобто ймовірність купівлі одного виду товару в заданий момент часу) можна вивести з відомостей про попереднє становище [21].

До евристичних методів прогнозування частки ринку товару можна віднести метод споживчої оцінки з використанням ланцюга Маркова. Метод прогнозування на основі теорії ланцюгів Маркова можна використовувати для прогнозу безлічі показників, які змінюються з року в рік одночасно, але безпосередньо функціональні зв'язки між ними не встановлено через відсутність інформації або складності цих зв'язків. Сутність методу полягає в складанні матриці змінень уподобань покупців при придбанні продукції різних видів.

Прогнозовану частку ринку  $i$ -го виду продукції здійснюємо за формулою

$$D_j = \sum_{i=1}^n d_{it-1} \rho_{ij}, \quad (20)$$



де  $d_{it-1}$  - частка продукції  $i$ -ї товарної марки в період часу попередній планованому;  $\rho_{ij}$  - відповідний елемент матриці коефіцієнтів зміни купівельних переваг;  $i$  - порядковий номер рядка матриці;  $j$  - порядковий номер стовпчика матриці.

На першому етапі визначаємо вихідні частки ринку, які займає кожний вид продукції. В основі прогнозу, побудованого на основі простих ланцюгів Маркова, лежить обчислення матриці переходу, елементами якої є ймовірності переходу прогнозованих параметрів з одного стану в інший, від одного значення до іншого. Ймовірність переходу покупців від використання товару однієї товарної марки до іншої або до товару-заміннику можна визначити декількома способами в ході маркетингових досліджень.

1. Шляхом проведення експерименту із застосуванням відривних ярликів і подальшою фіксацією зміни переваг споживачів або їх прихильності певній товарній марці або навіть конкретному товару. Такий спосіб має ряд недоліків: споживачі з низькою часткою ймовірності будуть повертати відривні ярлики навіть при наявності стимулів щодо їх повернення. Стимули можуть виявитися більш-менш ефективним за умови вказівки знижок на відривному ярлику на наступну покупку в даній роздрібній мережі.

2. Класичне опитування респондентів про їх переваги і ймовірності зміни цих переваг. Опитування дають змогу фіксувати і визначати чинники змін споживчих переваг, але респонденти можуть надати не зовсім коректні відповіді на питання щодо своїх майбутніх намірів. Особливо це стосується «Покоління Z» з їх прагненням до постійних змін товарних марок, змін споживчих переваг, прагненням до різноманітного споживання. А старші покоління, наприклад «Бєбі-бумери», можуть в анкеті вказати сталість в споживанні, а в подальшому, за фактом, потрапити під вплив цінового стимулювання збуту.

3. Найефективнішим способом визначення ймовірності переходу покупців від використання товару однієї товарної марки до іншої є аналітика Big Data, які мають всі великі роздрібні мережі, а також все частіше зустрічаються навіть на малих підприємствах Підприємства знають про покупців (закодованих за картками лояльності або банківськими картками) практично все: що купують, улюблені продукти, час покупки, цінові категорії товарів тощо. Така значна інформаційна база дає змогу досить точно визначити необхідні ймовірності змін і переваг.

У будь-якому випадку ми отримуємо не точне істинне значення ймовірності, а її статистичну оцінку. Зміни переваг споживачів при придбанні товарів різних товарних марок математично можна описати так: система (покупці) може перебувати в одному з станів  $A_1, A_2, \dots, A_m$  (в стані купівлі різних товарних марок товарів),  $m$  - кількість станів системи (кількість товарних марок досліджуваного товару, що знаходиться в торговельній мережі). Проводиться серія з  $N$  випробувань (загальна кількість переходів з одного стану в інший). Передбачається, що перехід від стану  $A_i$  в стан  $A_j, (i, j = 1, 2, \dots, m)$  залежить тільки від номерів  $i, j$  не залежить від результатів

випробувань, що передують досвіду, в результаті якого система перейшла в стан  $A_i$ . Ланцюг Маркова вважається заданим, якщо вказано початкові ймовірності  $d_{j,t=0}, (i, j = 1, \dots, m)$  - частки ринку певних товарних марок і матриця переходів  $P$ .

Так як однокрокові ймовірності переходу є постійними, діаграму переходу системи з двома можливими станами (наявність 2-х товарних марок в торговій мережі) в різні моменти часу при постійних однокрокових ймовірностях переходу, можна подати у вигляді графа (рис. 2).

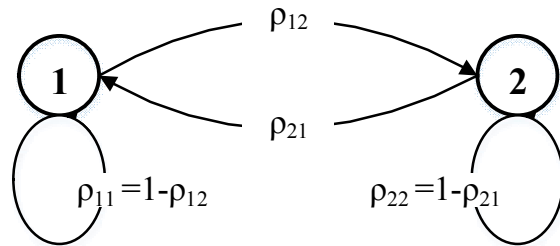


Рис. 2. Еквівалентний граф однорідного ланцюга Маркова з двома станами

У табл. 1 наведено оцінки ймовірностей переходу  $\rho_{ij}$  у разі дослідження 3-х товарних марок.

Таблиця 1 – Ймовірності зміни купівельних переваг

Товарні марки	Зміни переваг щодо товарних марок			Загальна ймовірність
	TM1	TM2	TM3	
TM1	$\rho_{11}$	$\rho_{12}$	$\rho_{13}$	1
TM2	$\rho_{21}$	$\rho_{22}$	$\rho_{23}$	1
TM3	$\rho_{31}$	$\rho_{32}$	$\rho_{33}$	1

Наведені в цій таблиці ймовірності називають Марківськими перехідними ймовірностями і утворюють квадратну матрицю ймовірностей переходів  $P$ . Матриця відповідає кількості можливих переходів.

$$P = [\rho_{ij}] = \begin{pmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \dots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & \rho_{22} & \dots & \rho_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{m1} & \rho_{m2} & \dots & \rho_{mn} \end{pmatrix}. \quad (21)$$

Початковий стан ймовірності  $d_{j,t=0}$  являє собою частки, що займають товарні марки  $TM_i$  на ринку у періоді, який передував проведенню спостереження. Повинні бути виконані такі умови [22]:

$$0 \leq \rho_{ij} \leq 1; \quad 0 \leq d_{j,t=0} \leq 1; \quad (i, j = 1, 2, \dots, m);$$

$$\sum_{i=1}^m \rho_{ij} = 1; \quad \sum_{i=1}^m d_{j,t=0} = 1. \quad (22)$$

Для визначення місткості ринкових сегментів через певний інтервал часу необхідно визначити ймовірність того, що споживач, який купив виріб однієї товарної марки, змінить свої переваги і придбає товар іншого виробника. Відповідно до рівності Маркова, матриця ймовірностей переходу  $P_t$  за  $t$  кроків дорівнює вихідній матриці  $P$ , зведеної у ступінь  $t$ :

$$P_t = P^t \quad (23)$$

Проілюструємо формулу (21) у вигляді дерева ймовірностей переходу для випадку вибору між трьома товарними марками (рис. 3). Якщо спершу було здійснено купівлю виробу товарної марки  $TM_1$ , то ймовірність того, що при другій купівлі знову

буде придбано продукцію виду  $TM_1$  дорівнює  $\rho_{11}$ , а при другій купівлі буде придбано виріб виду  $TM_2$  дорівнює  $\rho_{12}$ , а виду  $TM_3$  –  $\rho_{13}$ .

У той же час після здійснення другої купівлі, при третій – виникає можливість вибору знову з трьох видів товарних марок.

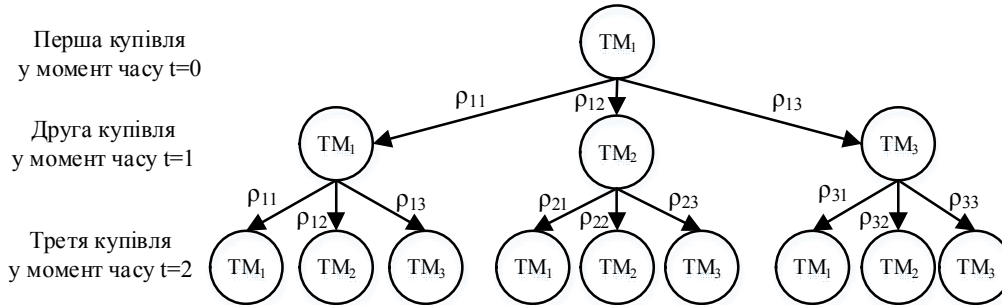


Рис. 3. Ілюстрація переходів зі стану купівлі товарної марки  $TM_1$  в усі можливі стани за два кроки

Як слідкує з наведеного рисунка, ймовірність купівлі товару товарної марки  $TM_1$  на 2-му кроці в момент часу  $t = 1$  (під час третьої купівлі), дорівнює

$$\rho_{11} \cdot \rho_{11} + \rho_{12} \cdot \rho_{21} + \rho_{13} \cdot \rho_{31}, \quad (24)$$

а для товарних марок  $TM_2$  і  $TM_3$  відповідно

$$\rho_{11} \cdot \rho_{12} + \rho_{12} \cdot \rho_{22} + \rho_{13} \cdot \rho_{32}, \quad (25)$$

$$\rho_{11} \cdot \rho_{13} + \rho_{12} \cdot \rho_{23} + \rho_{13} \cdot \rho_{33}. \quad (26)$$

Аналогічні формули можна навести і для описування змінень уподобань споживачів при переході від товарної марки  $TM_2$  або  $TM_3$  до конкурентних товарів. Таким чином, формулу, що враховує всі ймовірності зміни переваг між трьома товарними марками за два переходи (1-а, 2-а і 3-я купівлі) можна записати так

$$P = P^2 = P \cdot P. \quad (27)$$

Як показує статистика, масовий споживач, переходячи від купівлі одного виду продукції до іншого і порівнюючи продукцію, зупиняється, починаючи з якогось моменту часу, і віддає перевагу певному виду продукції або товарній марці, якщо на споживача за розглянутий проміжок часу не впливають зовнішні фактори, наприклад, такі як реклама, знижки, акції тощо. В цьому випадку ймовірності переходу від купівлі продукції товарної марки  $TM_1$  до купівлі цієї ж продукції; від купівлі виду  $TM_2$  до купівлі  $TM_1$ ; від купівлі  $TM_3$  до купівлі  $TM_1$  стають однаковими. Те ж саме відбувається з вірогідністю переходу від запропонованих в торговельній мережі товарних марок ( $TM_i, i = 1, 2, 3$ ) до купівлі товару виду  $TM_2$  або до купівлі товару  $TM_3$ .

Відповідно до теореми Маркова про граничні ймовірності, при кількості кроків, які прагнуть до нескінченності, ймовірності переходів перестають змінюватися [22]. Ланцюг Маркова входить в стійкий режим, при цьому має місце рівність

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \rho_{ij}(t) = \rho_j^*, \quad (28)$$

де  $\rho_j^*$  - гранична ймовірність настання події, сума ймовірностей дорівнює одиниці..

Для визначення часу  $t$ , необхідного для стабілізації системи і граничної ймовірності, зручно користуватися покроковим зведенням матриці  $P$  в ступінь.

Як тільки за стовпцями матриці будуть отримано приблизно однакові значення (гранична вірогідність), можна говорити про стабілізацію поведінки споживачів:

$$\begin{aligned} \rho_{11} \approx \rho_{21} \approx \rho_{m1}; \quad \rho_{12} \approx \rho_{22} \approx \rho_{m2}; \\ \dots; \quad \rho_{1n} \approx \rho_{2n} \approx \rho_{mn}. \end{aligned} \quad (29)$$

Показник ступеня, при якому ланцюг Маркова увійде в стійкий режим, дає можливість прогнозувати тимчасові моменти стійкої поведінки споживачів. Крок охоплює період часу між двома купівлями, які відбуваються, наприклад, через день, тиждень, місяць, рік або інший заданий інтервал часу. Таким чином, починаючи з  $t_n$  періоду розподіл часток між сегментами ринку щодо товарних марок можна вважати стійким.

Можна, або навіть необхідно для планування обсягів виробництва та збуту, будувати прогнози обсягів збуту за окремими видами продукції або товарних марок в періоди, що передують стабілізації системи, на відрізок часу  $0 < t < t_n$ .

В ринкових умовах обсяги продажів визначаються не обсягами виробництва, а здатністю продукції задовольняти потреби і відповідати уявленням покупців про товар. Тому матриця  $P$  повністю зумовлює стаціонарне становище  $\rho_j^*$  до яких прагне система. Початковий розподіл ринку між товарними марками не впливає на стаціонарний розподіл обсягів продажів. Однак він характеризує змінення обсягів збуту за видами продукції до того моменту, коли ринок досягне рівноважного стану.

Важливим моментом є перевірка вихідних даних на марковість, тобто на залежність подальшого стану від попереднього. Статистичний критерій ґрунтується на перевірці нульової гіпотези, яка полягає в тому, що події, які утворюють послідовність, є незалежними, а альтернатива полягає в тому, що вони є залежними [23]. Для перевірки нульової гіпотези обчислюється величина  $\lambda$

$$\lambda = \prod_{i,j} (d_{j,t=0} / \rho_{ij})^{n_{ij}}, \quad (30)$$

де  $n_{ij}$  – кількісна оцінка переходу зі стану  $i$  в стан  $j$ .

Для проведення розрахунків формула (15) зазвичай замінюється більш зручною у використанні

$$-2 \ln \lambda = 2 \sum_{i,j} n_{ij} \ln (\rho_{ij} / d_{j,t=0}). \quad (31)$$

Якщо гіпотеза є правильною, то величина  $-2 \ln \lambda$  буде розподілена асимптотично як  $\chi^2$  з  $(m-1)^2$  ступенями свободи при заданому рівні значущості. В іншому випадку нульова гіпотеза відкидається і приймається, що процес є марківським і має властивості ланцюгів першого порядку, отже, можна говорити про моделювання процесу змін уподобань споживачів серед розглянутих товарних марок за допомогою математичного апарату марківських ланцюгів першого порядку.

Виведення на ринок нових видів продукції і (або) реклама частково відволікають споживачів від традиційної прихильності і спонукають до випробування інших або нових видів ще раз. В результаті цього вихідна матриця ймовірностей переходу змінюється. В процесі стабілізації можуть бути досягнуті інші значення граничної ймовірності і кількість кроків входження в стійкий режим.

Явною перевагою такої моделі є нескладність розрахунків, простота в застосуванні, можливість простежити тенденції і причини зміни статусів при вивченні її динаміки. Серед недоліків моделі можна відзначити необхідність зваженого підходу до визначення кількісного і якісного складу частини об-

стежуваної сукупності, а також дотримання принципу порівнянності при проведенні повторних досліджень, неточність отриманих результатів.

## Висновки

Жодна компанія не може і не уникне нинішніх швидких цифрових трансформацій ринкового середовища. Задоволення потреб клієнтів різних поколінь та розвиток технологій для задоволення потреб «Покоління Z» - це шлях до конкурентоспроможного стану підприємства у довгостроковій перспективі в епоху цифрових технологій.

Таким чином підприємство повинно своєчасно реагувати на зміни стратегій своїх конкурентів, проводити дослідження свого ринку на основі аналітичної системи оцінювання перспектив збуту, яка передбачає застосування автоматизації процесу збору даних, формуванні баз даних, машинної обробки для отримання кінцевих результатів, здійсненні контролю відхилення фактичних даних від прогнозованих. Це дозволить враховувати щонайменші коливання ринку.

Застосування ланцюгів Маркова в прогнозуванні обсягів збуту дасть зручність, швидкість і простоту збору та оброблення потрібних даних, можливість оперативно оцінювати ринкові зміни, перспективність виробництва (продажів) нових видів товарів, планувати кампанії зі стимулювання продажів і оцінювати їх ефективність в "лабораторних умовах"; розробляти й оцінювати різні варіанти стратегії підприємства. З огляду на специфіку ринку, розглянутий метод прогнозування обсягів збуту можна проводити не тільки виходячи зі зміни уподобань споживачів до окремих видів товарів, але також ураховуючи зміни симпатій до продукції певних підприємств.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Голованова М.А. Місткість ринку: методологічні підходи і практичні рекомендації : навч. посіб. / М. А. Голованова. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харк. авіац. ін-т», 2014. – 168 с.
2. Golovanova M/ Using the economic and mathematical models for determining the market capacity / M..A. Golovanova, V.V. Lebedchenko // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. - 2018. - № 1 (3). – С. 71- 81.
3. Ферріс, Поль У. Маркетингові показники: Більше 50 показників, які важливо знати кожному керівнику / Ферріс Поль У., Бенді Нейл Т., Пфайфер Філіпп І., Рейбштейн Девід Дж. / Пер. з англ.; За наук. ред. І.В.Тараненко. – Дніпропетровськ: Баланс Бізнес Букс, 2009. – 480 с/
4. Федько, В. П. Товарная политика организации (Стандарт третьего поколения) / В.П. Федько. – СПб.: Питер, 2018. – 608 с.
5. Логинова Ю.В. Моделирование поведения интернет-потребителей на основе сложной вероятностной модели / Ю.В. Логинова // Вестник Кемеровского Государственного университета. - Кемерово : КГУ. - 2014. - № 2-1(58). – С 247-255.
6. Lipstein, B. A mathematical model of consumer behavior / B. Lipstein // Journal of Marketing Research. - 1965. - № 2. - P. 259-265.
7. Charles, ST A stochastic model of consumer behavior and optimal advertising / ST Charles // Management Science. - 1982. - № 9. - P. 1 054-1064.
8. Beresnev, VL A mathematical model of market competition / VL Beresnev, VI Suslov // Journal of Applied and Industrial Mathematics. - 2010. - № 2. - P. 147 - 157.
9. Семиглазов, А. М. Математическое моделирование рекламной кампании / А. М. Семиглазов, В. А. Семиглазов, К. И. Иванов // Доклады ТУСУРа. – 2010. – № 2. – С. 342 – 350.
10. Каширина, И. Б. Экономико-математическая модель прогнозирования спроса на образовательные услуги / И. Б. Каширина, В. Г. Мыслик // Моделирование систем. – 2002. – № 2. – С. 46 – 53.
11. Patel, S. Models of consumer behavior / S. Patel, A. Schlijper. - P. 63. - Режим доступа: <http://www.smithinst.ac.uk/Projects/ESGI49/ESGI49-UnileverConsumers/Report/Consumers.pdf>.
12. Окландер М.А. Сучасні трансформації культурних чинників поведінки споживача / М.А. Окландер // Економічний вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». - 2013. - № 10. - С. 386-392 [Електронний ресурс]. - Режим доступа: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/evntukpi\\_2013\\_10\\_65](http://nbuv.gov.ua/UJRN/evntukpi_2013_10_65).
13. Howe, Neil; Strauss, William. Generations: The History of America's Future, 1584 to 2069. New York: William Morrow & Company. – 1991. – 538 p.
14. Howe, Neil; Strauss, William The Fourth Turning: What the Cycles of History Tell Us About America's Next Rendezvous with Destiny. New York: Broadway Books. – 1997. – 400 p.

15. Шамис, Е. Теория поколений [Электронный ресурс] / Е. Шамис, А Антипов // Психология и бизнес. – Режим доступа. - <https://psycho.ru/library/2581>.
16. Державна служба статистики України : офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ukrstat.gov.ua/>
17. Малетин, С.С. Особенности потребительского поведения поколения Z / С. С. Малетин // Russian Journal of Entrepreneurship. – 2017. - № 2. – С. 3348- 3360.
18. Амато, С. Что нужно знать о поколении Z. О мировоззрении, поведении и увлечениях постмиллениалов. Buro247. [Электронный ресурс] С Амато. - Режим доступа. - <https://www.buro247.ru/lifestyle/obshchestvo/24-jul-2017-all-about-generation-z.html>.
19. Милош, И. Исследование: Сбербанк изучил поколение Z Доклад банка посвящен «центениалам». Sostav. [Электронный ресурс] / И. Милош. - Режим доступа. - <http://www.sostav.ru/publication/>.
20. Портрет современных потребителей: На смену Миллениалам приходит Z. Sostav [Электронный ресурс]. - Режим доступа. - <http://www.sostav.ru/publication/>.
21. Френкель А.А. Прогнозирование производительности труда: методы и модели. - М.: Экономика, 1989. – 216 с.
22. Волков И.К., Зуев С.М., Цветкова Г.М. Случайные процессы. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 448 с.
23. Вентцель Е.С., Овчаров А.А. Теория вероятностей. – М.: Знание, 1973. – 388 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І. В. Шостак,  
Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського, Харків  
Received (Надійшла) 11.04.2019  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

### **Применение цепей Маркова для определения ёмкости рыночных сегментов в условиях цифровой трансформации поведения поколений потребителей**

М. А. Голованова, Д. С. Голованов

Проблема совершенствования методов исследования потребителей и разработка принципиально новых текущих и будущих прогнозов спроса повышенного качества с учётом потребительского поведения и эффективного управления им в условиях цифровой трансформации общества является актуальной и совсем нерешённой. Анализ математических моделей прогнозирования спроса и ёмкости рынка показал, что модели, как правило, базируются на выявлении общих и устойчивых закономерностей и связей, анализа тенденций и их экстраполяции. Разработка экономико-математических моделей с учётом факторов турбулентной среды поведения различных поколений потребителей требует соответствующего математического аппарата, механизмов сбора статистических данных и построения соответствующих моделей. Особое внимание следует уделять прогнозированию потребительского поведения так называемого «Поколения Z», которое формируется под влияние интенсивного развития цифровых технологий и имеет ряд особенностей. В условиях, когда большинство товаров на современном рынке представлено несколькими производителями, большим количеством торговых марок, а стимулирование сбыта со стороны производителей и продавцов имеет скачкообразный характер, при этом реакция покупателей на тот или иной товар зависит от множества факторов, то прогноз объёмов сбыта может основываться на статистической оценке изменения предпочтений потребителей к продукции отдельных видов и производителей. К эвристическим методам прогнозирования доли рынка товаров можно отнести метод потребительской оценки с использованием цепи Маркова, в основе которого лежит вычисление матрицы переходов, элементами которой являются вероятности перехода прогнозируемых параметров из одного состояния в другое, от одной торговой марки к другой. Экономико-математическое моделирование ёмкости рыночных сегментов с использованием цепей Маркова использует несложные расчёты, является простым в применении, имеет возможность проследить тенденции и причины изменений при исследовании динамики спроса разных сегментов рынка.

**Ключевые слова:** ёмкость рынка, доля рынка, цифровая трансформация поведения потребителей, поколение Z, экономико-математическое моделирование, прогноз, спрос, цепи Маркова, матрица вероятностей перехода.

### **The use of Markov chains to determine the capacity of market segments in a digital transformation of the behavior of generations of consumers**

M. Golovanova, D. Golovanov

The problem of improving the methods of consumer research and the development of fundamentally new current and future forecasts of high-quality demand, taking into account consumer behavior and effective management in the conditions of the digital transformation of society, is urgent and completely unsolved. Analysis of mathematical models of forecasting demand and market capacity showed that the models are usually based on identifying common and stable patterns and relationships, analyzing trends and their extrapolation. The development of economic and mathematical models, taking into account the factors of the turbulent environment of the behavior of different generations of consumers, requires an appropriate mathematical apparatus, mechanisms for collecting statistical data and building appropriate models. Particular attention should be paid to the prediction of consumer behavior of the so-called "Generation Z", which is formed under the influence of the intensive development of digital technologies and has a number of features. In conditions when the majority of goods on the modern market are represented by several manufacturers, a large number of brands, and sales promotion by producers and sellers is abrupt, and the reaction of buyers to a particular product depends on many factors, the forecast of sales volumes can be based on a statistical assessment of changes in consumer preferences for products of individual species and manufacturers. The heuristic methods for predicting the market share of goods include a consumer assessment method using the Markov chain, which is based on the calculation of the transition matrix, whose elements are the probabilities of transition of predicted parameters from one state to another, from one brand to another. Economic-mathematical modeling of the capacity of market segments using Markov chains uses simple calculations, is easy to use, has the ability to track trends and causes of changes in the study of the dynamics of demand in different market segments.

**Keywords:** market capacity, market share, digital transformation of consumer behavior, generation Z, economic and mathematical modeling, forecast, demand, Markov chains, transition probability matrix.

В. Д. Дмитрієнко, С. Ю. Леонов, В. О. Бречко

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

## ВИКОРИСТАННЯ АСОЦІАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

При проектуванні технологічних процесів механообробки використовується банк даних, в якому необхідно знайти потрібну інформацію та скомпонувати її в залежності від задачі. При цьому виникає необхідність побудови багаторівневої структури обробки даних. Також необхідно забезпечити швидкий пошук необхідної інформації, яка знаходиться в банку даних. Вирішити цю проблему можна за допомогою асоціативної пам'яті, застосувати яку можна як при пошуку інформації, так і при подальшому збереженні отриманого технологічного процесу. **Метою роботи** є розробка нейронних мереж асоціативної пам'яті для проектування і зберігання технологічних процесів для високоточних і унікальних деталей. **Результати.** За допомогою запропонованих нейронних мереж асоціативної пам'яті розроблено технологічний процес для виробництва конкретної деталі. Алгоритм навчання окремих модулів багатопов'язаної мережі являє собою процес визначення навчального набору зображень і побудови матриць вагів зв'язків між вхідним і вихідними шарами нейронів. При використанні асоціативної пам'яті збільшується швидкість роботи з даними за рахунок паралельної обробки інформації. Математичне моделювання технологічного процесу виробництва деталі підтвердило правильність теоретичних положень. **Висновки.** Розроблені нейронні мережі для проектування і зберігання технологічних процесів для виробництва високоточних деталей.

**Ключові слова:** технологічний процес, асоціативна пам'ять, нейронні мережі

### Постановка проблеми і аналіз літератури

Останнім часом труднощі технологічної підготовки виробництва, особливо при виготовленні унікальних високоточних виробів, значно зросли [1, 2]. Це викликано ускладненням існуючої техніки, використанням нових матеріалів, зростанням вимог до точності виготовлених деталей і т.п. Автоматизоване проектування технологічного процесу (ТП) дозволяє скоротити час на розробку операційної та маршрутно-карт ТП, на вибір обладнання, підвищити якість виробленої продукції. Сьогодні автоматизація проектування технологічного процесу базується на створенні систем "людина-машина", коли система працює в діалоговому режимі з технологом, або шаблонних систем, які вимагають адаптації на конкретну виробничу систему [3]. Для вирішення цих проблем застосовується АСУ ТП (автоматизована система управління технологічними процесами) - комплекс необхідних технічних і програмних засобів для забезпечення автоматизації управління обладнанням підприємства. Без застосування АСУ ТП в даний час не обходиться жодна галузь виробництва.

Однак існують галузі виробництва, де застосування стандартних технологічних процесів неможливе в силу унікальності вироблених деталей. Тому виникає необхідність розробки систем проектування, які дозволять будувати технологічні процеси для унікальних деталей, з подальшим збереженням отриманого результату.

Інтерактивний або діалоговий принцип побудови автоматизованих систем комп'ютеризованого проектування технологічних процесів найбільш повно відповідає сучасним вимогам розробки технологічних процесів.

Такий принцип побудови систем проектування ТП заснований на зверненні до сукупності різних баз даних, які зберігають всю інформацію, необхід-

ну для побудови ТП (дані про технологічні операції, переходи, станочний парк підприємства, готові ТП). Структурна схема комплексної САПР ТП приведена на рис. 1.

Банк даних на схемі комплексної САПР ТП призначений для забезпечення необхідною інформацією процесів автоматизованого проектування підсистем, що розглядалися вище. Основними функціями банку даних є збір, накопичення, зберігання, заміна, пошук і перетворення всіх видів інформації, що обробляється системою, що дозволяє істотно спростити алгоритми і програми функціональних підсистем і скоротити час роботи ЕОМ.

Підсистема автоматизованої розробки технологічних процесів призначена для проектування технологічних процесів обробки деталей.

Підсистема автоматизованого програмування застосовується для розробки керуючих програм для верстатів з ЧПК і промислових роботів, які використовуються при виготовленні деталей основного виробництва і спеціального оснащення [3].

Але при роботі зі складними високоточними деталями (рис. 2), виробництво яких не є потоковим, необхідно проектувати технологічний процес індивідуально для кожної деталі. Наведена деталь має більше 60 поверхонь, частина з яких позначена на рис. 2. Деталь має внутрішні і зовнішні циліндричні поверхні, а також канавки складної форми (поверхня 9), ділянку конусної поверхні (поверхня 6). Є нетехнологічний шестигранний отвір, отвори з радіальним биттям і внутрішні отвори.

Використовуючи інформацію, яка знаходиться в банку даних технологічного процесу, можна вибрати і скомпонувати її в один ТП. При цьому виникає необхідність побудови багаторівневої структури обробки даних, коли результати роботи кожного рівня залежать від даних попереднього рівня і впливають на наступний. Також необхідно забезпечити швидкий пошук необхідної інформації, яка знаходиться в банку даних.



Рис. 1. Структурна схема комплексної САПР ТП

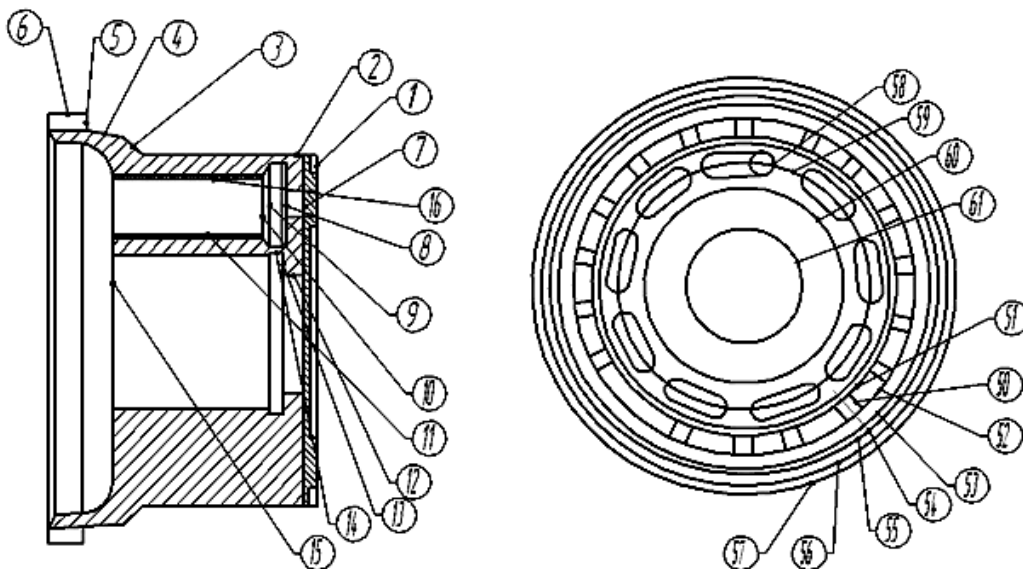


Рис. 2. Нумерація поверхонь на корпусній деталі "Блок циліндрів"

Вирішити цю проблему можна за допомогою асоціативної пам'яті, застосувати яку можна як при пошуку інформації, так і при подальшому збереженні отриманого технологічного процесу.

Сучасні системи для більш ефективного обробки інформації потребують досить високого рівня швидкодії. Однак виникає проблема зв'язку пам'яті і процесора, так як швидкодія процесора на порядок більше ніж пам'яті, в результаті чого пам'ять не встигає забезпечити процесор необхідною інформа-

цією в потрібному темпі. За рахунок ієрархічної організації пам'яті, використання кеш-пам'яті можна прискорити передачу інформації, але такий підхід вимагає великих витрат ресурсів.

Найбільш ефективним способом вирішення цієї проблеми є комбінування функцій зберігання і обробки інформації з використанням асоціативного методу доступу.

У повністю асоціативних запам'ятовуючих пристроях (АЗП) операції порівняння реалізуються



безпосередньо в самих елементах пам'яті, що дозволяє досягти виключно високої продуктивності при асоціативній вибірці даних, хоча при цьому збільшуються витрати на зберігання одного біта інформації. На такі АЗП покладаються основні надії при створенні інтелектуальних систем. Їх розробка орієнтується на використання нових системотехнічних і технологічних принципів проектування. З метою прискорення пошуку даних використовується адресація за змістом, яка здійснюється шляхом одночасного доступу до всіх елементів пам'яті [4].

В сучасних обчислювальних системах часто використовується операція пошуку інформації. При використанні звичайної пам'яті з адресним принципом доступу до даних ця операція займає багато часу, так як операнди зчитуються з пам'яті по черзі (послідовно), після чого над кожним операндом проводиться операція порівняння. Ця обставина є чинником, що збільшує час пошуку. Рішення проблеми полягає в тому, щоб ці операції виконувалися одночасно (паралельно) [5]. Одним із способів реалізації АЗП є програмна організація (моделювання), яка полягає в тому, що асоціативні зв'язки між інформацією, що зберігається в пам'яті, встановлюються шляхом впорядкованого розташування їх у вигляді послідовних ланцюжків або груп (списків), пов'язаних адресами зв'язку (вказівниками), коди яких зберігаються в тих же елементах пам'яті (рис. 3). Цей спосіб зручний для практичної реалізації при великих обсягах інформації, так як забезпечує застосування звичайних накопичувачів з адресним зверненням.

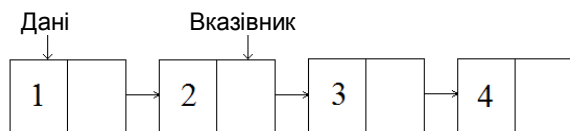


Рис. 3. Розташування даних в пам'яті у вигляді списку

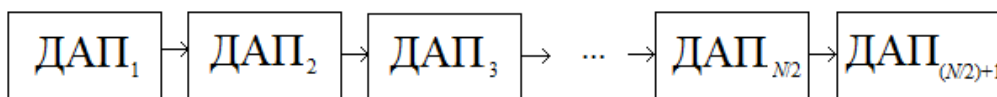


Рис. 4. Список, елементами якого є двонаправлена асоціативна пам'ять

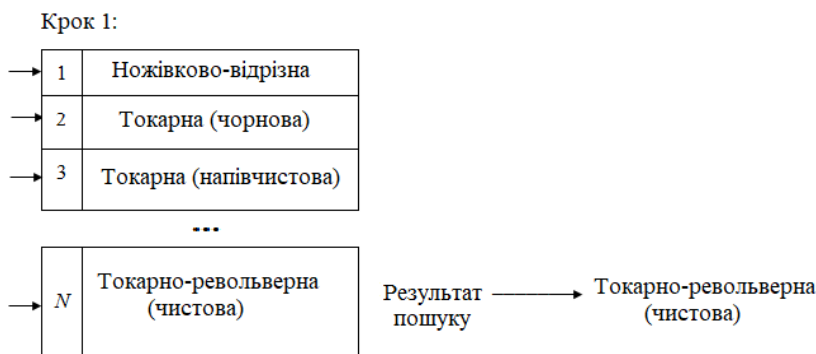


Рис. 5. Пошук операції за допомогою асоціативної пам'яті

При використанні асоціативної пам'яті збільшується швидкість роботи з даними за рахунок паралельної обробки інформації. Після побудо-

**Метою роботи** є розробка нейронних мереж асоціативної пам'яті для проектування і зберігання технологічних процесів для високоточних і унікальних деталей.

**Результати досліджень**

При проектуванні ТП будується операційна карта, яка складається з послідовності операцій, які необхідно виконати для виготовлення деталі. Для цього необхідно знайти потрібні операції з наявних і побудувати правильну їх послідовність. Побудовою операційної карти займається технолог в діалоговому режимі з системою, виконуючи пошук потрібної операції. Для цього необхідно організувати швидкий пошук інформації по банку даних, що передбачає створення більш ефективної системи зберігання ТП.

Інформація про операції ТП зберігатися в банку даних у вигляді списків (рис. 4), кожен елемент якого зберігає інформацію про одну операцію ТП. Але при побудові ТП використовувати список (послідовність груп) неефективно, тому в якості елемента цього списку можна використовувати асоціативний осередок, на вхід якого подається інформація про деталь, яку необхідно обробити за допомогою певної операції, а на виході отримати результат виконання цієї операції.

Кожен елемент списку являє собою деяку операцію ТП. При використанні асоціативної пам'яті в технологічному процесі при виборі необхідної послідовності операцій зі списку, що складається з N множин операцій, аналізуються відразу всі N операцій, які знаходяться в базі знань, тому результат пошуку отримується на першому кроці.

Приклад пошуку однієї операції наведено на рис. 5.

При звичайній послідовній обробці множини з N операцій пошук виконується, в гіршому випадку, за N кроків, де N дорівнює кількості елементів в базі знань (рис. 6).

ви операційної карти будується маршрутна карта ТП, в якій міститься інформація про послідовність використання обладнання при виготовленні деталі.

При цьому необхідно враховувати безліч факторів (вид оброблюваної поверхні, інформацію про операції, розміри заготовки і т.п.), що потребує побудови багаторівневої структури обробки даних, коли результати роботи кожного рівня залежать від даних і результатів попереднього рівня і впливають на наступний.

В даний час відомий цілий ряд штучних нейронних мереж (ШНМ), що моделюють різні властивості асоціативної пам'яті людини [6–8].

Однак при моделюванні за допомогою штучних нейронних мереж множинних асоціацій, ланцюжків асоціацій або деревовидних структур, породжених асоціаціями, виникають суттєві труднощі, пов'язані з відсутністю відповідних нейронних мереж (НМ).

Ці труднощі можна обійти, якщо використовувати ієрархічні нейронні мережі асоціативної пам'яті.

Наприклад, при визначенні станка і інструмента для виконання конкретної операції запропонована ієрархічна мережа, зображена на рис. 7 [9].

Блоки №1-3 являють собою багатощарову асоціативну пам'ять з керуючими нейронами, що дозволяє коригувати дані в процесі проектування, блок "Вибір інструмента" -  $N$ -спрямовану асоціативну пам'ять, дозволяє обрати з наявного обладнання на підприємстві безліч інструментів із заданими параметрами, які можуть виконати конкретну задачу.

В якості вхідних даних блоку №1 виступають дані про виконувану операцію і вид поверхні, що обробляється. На виході блоку №1 отримують тип станка, інформація про який виступає в якості вхідних даних на другий шар нейронної мережі разом з керуючими сигналами блоку №2 про габаритні розміри заготовки і станочний парк.

На виході другого шару отримують клас станка. Дані про клас станка і керуючий сигнал про якість поверхні на вході блоку №3 мережі визначають групу верстатів, які можуть виконувати конкретну операцію.

Після вибору станка, в залежності від керуючих сигналів, операції і виду інструменту, вибирається інструмент з необхідними параметрами.

В якості керуючого сигналу може виступати, наприклад, величина діаметра отвору, який необхідно розточити.

При зміні діаметра отвору в ході проектування технологічного процесу зміниться виконання тільки однієї операції (рис. 8)

На рис. 8 показана операція розточування отвору технологічного процесу виготовлення деталі, в першому випадку показана операція без керуючого сигналу, у другому – з керуючим сигналом, який

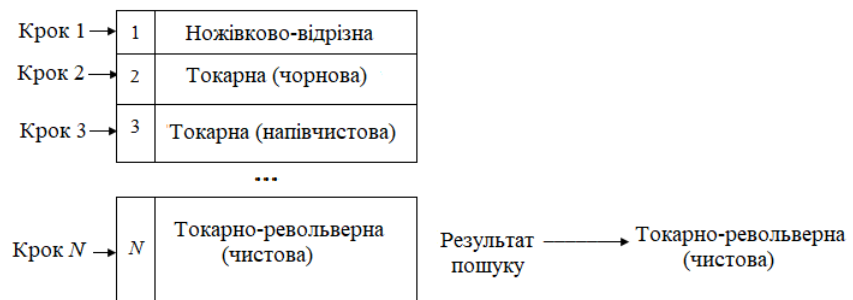


Рис. 6. Пошук операції за допомогою послідовного перебору

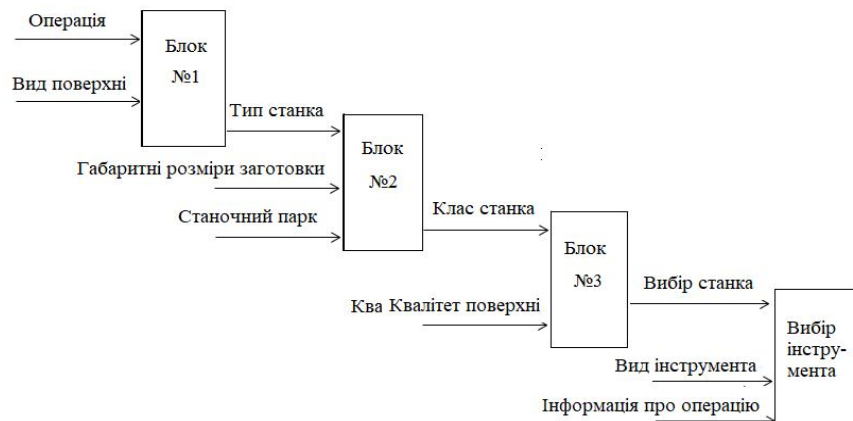


Рис. 7. Структурна схема вибору інструменту для виконання однієї операції

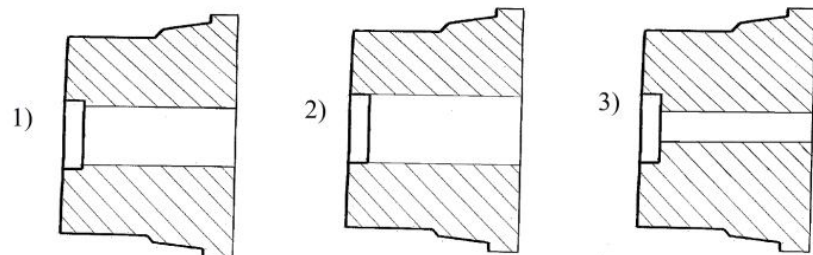


Рис. 8. Операція стандартного ТП з різними керуючими сигналами

задає більший діаметр розточування, в третьому – з керуючим сигналом, який задає менший діаметр розточування.

Таким чином, за допомогою багатощарової нейронної мережі, побудованої на основі одношарових нейронних мереж асоціативної пам'яті, можна вибрати станок та інструмент для виконання певної операції технологічного процесу з можливістю коригування даних в процесі роботи. Потім цю інформацію використовувати при виконанні ТП виробництва конкретної деталі.

Алгоритм навчання окремих модулів багатощарової мережі (рис. 7) являє собою процес визначення навчального набору зображень і побудови матриць ваг зв'язків між вхідним і вихідними шарами нейронів.

За допомогою запропонованих нейронних мереж розроблено ТП для виробництва деталі, наведеної на рис. 2.

Математичне моделювання технологічного процесу виробництва деталі підтвердило правильність теоретичних положень.

## Висновок

Таким чином, у статті запропоновані нейронні мережі асоціативної пам'яті для проектування і збе-

рігання технологічних процесів для виробництва високоточних деталей. Використання запропонованого підходу дозволить підвищити швидкість роботи з даними.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Петраков Ю.В. Теорія автоматичного управління в металообробці: навч. посібник / Ю.В. Петраков. – К.: ІЗМН, 1999. – 212 с.
2. Бунаков П. Технологическая подготовка производства в САПР / П. Бунаков, Э. Широких. – Москва : ДМК Пресс, 2012. – 208 с.
3. Токликишвили А.Г., Рогулин А.Г., Колесникова О.В., Лелюхин В.Е. Организация технологической подготовки производства на производственных предприятиях [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-1. – Режим доступа к статье: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=21346>
4. Таненбаум Э. Архитектура компьютера. 5-е изд. СПб.: Питер, 2007. 844 с.
5. Хмелевский И.В., Битюцкий В.П. Организация ЭВМ и систем. Однопроцессорные ЭВМ. Часть 3.: Конспект лекций. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 100 с.
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. М.: Изд. дом "Вильямс", 2016. 1104 с.
7. Kosko B. Optical bi-directional associative memories/ Kosko B. // SPIE Proceedings: Image Understanding, 1987. – 758 с.
8. Charu C. Aggarwal Neural Networks and Deep Learning: A Textbook / Charu C. Aggarwal – IMB T.J. Watson Research Center, 2018. – 94 с.
9. Дмитриенко В.Д. Гибридная иерархическая нейронная сеть для хранения знаний технологического процесса механообработки / В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. Харків: НТУ "ХПІ", 2013. № 39 (1012). С. 68-72.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. О. Можасьв,  
Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків  
Received (Надійшла) 10.04.2019  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.05.2019

## Использование ассоциативной памяти при проектировании технологических процессов

В. Д. Дмитриенко, С. Ю. Леонов, В. О. Бречко

При проектировании технологических процессов механообработки используется банк данных, в котором необходимо найти нужную информацию и скомпоновать ее в зависимости от задачи. При этом возникает необходимость построения многоуровневой структуры обработки данных. Также необходимо обеспечить быстрый поиск необходимой информации, которая находится в банке данных. Решить эту проблему можно с помощью ассоциативной памяти, применить которую можно как при поиске информации, так и при дальнейшем сохранении полученного технологического процесса. **Целью работы** является разработка нейронных сетей ассоциативной памяти для проектирования и хранения технологических процессов для высокоточных и уникальных деталей. **Результаты.** С помощью предложенных нейронных сетей ассоциативной памяти разработан технологический процесс для производства конкретной детали. Алгоритм обучения отдельных модулей многослойной сети представляет собой процесс определения учебного набора изображений и построения матриц весов связей между входным и выходным ядрами нейронов. При использовании ассоциативной памяти увеличивается скорость работы с данными за счет параллельной обработки информации. Математическое моделирование технологического процесса производства детали подтвердило правильность теоретических положений. **Выводы.** Разработаны нейронные сети для проектирования и хранения технологических процессов для производства высокоточных деталей.

**Ключевые слова:** технологический процесс, ассоциативная память, нейронные сети.

## Use of associative memory for projecting technological process

V. Dmitrienko, S. Leonov, V. Brechko

A data bank is using during designing technological processes of machining, in which it is necessary to find the required information and put it together depending on the task. This process raises the need to build a multi-level structure of data processing. It is also necessary to provide a quick search for the required information in the data bank. This problem can be solved with the help of an associative memory, which can be applied as during searching for information and while further saving the obtained technological process. **The aim of the article** is the development of neural networks of associative memory for the design and saving of technological processes for high-precision and unique parts. **Results.** A technological process for the production of a specific part with the using of the proposed neural networks of associative memory has been developed. The algorithm for training individual modules of a multilayer network is the process of determining the training set of images and constructing the weight matrices of the links between the input and output layers of the neurons. When using associative memory, the speed of data work is increased due to the parallel processing of information. Mathematical modeling of the production process details confirmed the correctness of the theoretical principles. **Conclusions.** The neural networks for the design and saving of technological processes for the production of high-precision parts have been developed.

**Keywords:** technological process, associative memory, neural networks.

Н. В. Ічанська

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

## ОПТИМАЛЬНИЙ ВИБІР МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНТЕРНЕТ-РЕСУРСІВ

**Предметом** дослідження є вивчення існуючих методів та засобів для створення та організації власного інтернет ресурсу та аналіз необхідних користувачеві ресурсів та знань. Організація інтернет ресурсу є сукупністю програмних, інформаційних, а також медійних засобів, які логічно пов'язані між собою та при правильному поєднанні дають можливість якісно та ефективно доносити до потенційних користувачів необхідну інформацію. Існує безліч шляхів і методів для створення сайту та обрати оптимальні з них, саме ті, що максимально реалізують поставлені перед розробником задачі, є досить складне та актуальне завдання, що потребує детального розбору та планування. **Результати** - сформовано перелік оптимальних засобів відповідно до кожної з існуючих категорій інтернет-ресурсів. Розглянуто найбільш поширені та популярні засоби для роботи з сайтами, проаналізовано перелік переваг та недоліків кожного з них. Проведено широку дослідницьку роботу з вивченням найпоширеніших і найпопулярніших категорій інтернет-ресурсів, інформаційних порталів, веб-сторінок, та сучасних засобів для їх створення. На прикладі розробки сайту кафедри університету показано якісний набір засобів для створення сайту. Надано оптимальний перелік методів та програмних засобів для створення різноманітних інтернет-ресурсів. Аналізуючи проведене в роботі дослідження, користувач може самостійно спробувати створити власний інтернет-ресурс. **Висновок** – систематизація всіх результатів дослідницької роботи, запропонованої автором, дозволить читачеві краще орієнтуватися в сфері розробки інтернет-ресурсів та обрати оптимальний набір інструментів відповідно до своїх потреб, визначитися з переліком питань які потребують подальшого розбору та поглибленого вивчення. Опіраючись на проведений в роботі аналіз, читач зможе з легкістю визначити, які саме потрібно застосовувати засоби для створення власного інтернет-ресурсу та успішно створити його, бо правильний вибір засобів – це основа для успішного створення сайту.

**Ключові слова:** інструменти веб-розробки, мови програмування, бази даних, каскадні таблиці стилів, мова гіпертекстової розмітки, PHP, Ruby, Perl, WordPress, системи керування контентом, Drupal, Joomla, Magento, шаблони, плагіни.

### Вступ

У сучасному світі технології постійно розвиваються і не стоять на місці. Це твердження справджується і для технологій веб-розробки які включають в себе масу аспектів. А саме: проектування, реалізацію внутрішньої (серверної) частини майбутнього сайту, розробку макету дизайну та його подальше вдосконалення і впровадження, розміщення в інтернеті, налаштування індексації для пошукових систем і всебічне тестування (функціональне, тестування сумісності, безпеки, ефективності, практичності). Для виконання кожного з цих пунктів існує безліч інструментів, що є водночас і перевагою і недоліком.

**Аналіз проблеми та постановка задачі** Процес створення власного сайту досить громіздкий і доволі складний. Користувачеві, особливо початківцю, досить важко зорієнтуватися в широкому наборі всіх доступних інструментів, а головне ефективно поєднати їх для досягнення кінцевої мети.

Мета цієї статті полягає в підборі оптимального набору засобів створення веб-розробки.

Для розв'язування цієї задачі необхідно: виокремити основні типи веб-ресурсів, що є популярні та дослідити технології за допомогою яких вони розроблені, систематизувати знання про них, чітко описати недоліки та переваги, а також вказати необхідний рівень знань користувача для роботи з ними.

Важливість вибраної авторами проблематики підкреслюється інтересом багатьох дослідників [1-6]. Широкої популярності та актуальності набули

роботи з цієї тематики. Так, у роботі [1] висвітлена тема розробки зовнішнього вигляду та зручного інтерфейсу інтернет-ресурсів. Авторами наукової праці [2] висвітлено проблеми розробки веб-дизайну для інтернет-ресурсів тематика яких орієнтована на мобільні пристрої. У статті [3] розв'язано цю задачу для конкретної сфери веб-розробки, а саме інтернет-магазину та в [3] детально висвітлено основні аспекти цієї проблеми запропоновано шляхи їх вирішення. У статті [4] описано проблему створення програмного забезпечення та його веб-інтерфейсу для мережі продажу автомобілів.

У цій роботі досить змістовно і в повному обсязі висвітлено всі аспекти роботи та методи досягнення кінцевої мети. Описано проблематику і основні аспекти організації інтернет-ресурсів в найпопулярніших сферах веб-розробки. Надано перелік порад, що допоможуть орієнтуватися в сучасних методах веб-програмування з врахуванням вимог до зручності, привабливості інтерфейсу, побудови внутрішньої структури та логіки інтернет-ресурсу. Розв'язання цієї задачі дозволить оптимізувати витрати (гроші, час, зусилля) при розробці сайту.

**Мета роботи** – провести аналіз технологій веб-розробки та визначити доцільність їх використання. Для цього нам потрібно:

- 1) провести аналіз технологій створення сайтів;
- 2) виокремити основні категорії сайтів, що існують в Інтернеті;
- 3) надати короткий та змістовний огляд сучасних технологій розробки сайтів;

4) сформувані перелік переваг та недоліків найпопулярніших засобів розробки.

### Виклад основного матеріалу

Сьогодні інтернет надає масу можливостей, якими користуються все більше і більше людей. До найпопулярніших з них відносять: ведення свого блогу та проведення підприємницької діяльності. Основною робочою одиницею інтернету є сайт. Наразі існують такі основні типи сайтів:

1. Сайт-візитка – слугує для представлення чи надання певної інформації про людину або компанію. Зазвичай містить саму головну інформацію і має не складну структуру.

2. Корпоративний сайт – розвинена і ускладнена концепція сайту-візитки. Зазвичай такий тип сайтів використовують великі компанії для надання широкого спектру інформації про свою діяльність і для формування свого іміджу.

3. Форум – місце для спілкування людей на різноманітні теми. Форуми можуть бути глобальні та локальні.

4. Промо-сайт – це засіб для проведення рекламної діяльності та презентації певних товарів чи послуг. Головною метою є залучення та привернення уваги цільової аудиторії. За технічними характеристиками промо-сайт повинен мати не складну структуру, не великий об'єм і по дизайну представляти з себе рекламний буклет [2].

5. Блог – дозволяє користувачеві в інтерактивному режимі висловлювати свої думки, висвітлювати свою точку зору на певні події або просто розповідати про себе. Блог повинен мати просту і зрозумілу структуру і зазвичай не великий обсяг.

6. Інтернет-магазин - це особлива форма інтерактивного веб-сайту, яка призначена для рекламування товару, прийому замовлення на покупку товару, організацію доставки й оплати. Існує декілька аспектів, що ускладнюють структуру та розробку подібного інтернет-ресурсу, серед них:

- необхідність легкого масштабування ресурсу;
- наявність засобів захисту особистих даних користувачів;
- організація спілкування між покупцем і консультантом засобами інтернет-магазину;
- підключення можливості безготівкового розрахунку.

На всі ці аспекти потрібно звертати увагу ще в процесі розробки подібного інтернет-ресурсу, бо їх реалізація і впровадження в уже працюючий сайт може призвести до технічних проблем і труднощів у користуванні. Отже, можливих варіантів призначення сайту досить багато, ми навели лише основні і найпопулярніші. У основі розробки кожного з них лежать загальні правила і стандарти яким необхідно слідувати під час розробки сайту. Сайт це такий програмний продукт в основі якого лежить принцип розділення, що полягає в розділенні користувачького інтерфейсу і внутрішньої будови програми. Звичайний відвідувач сайту не повинен мати змоги змінювати розмітку сторінок сайту, мати

доступ до налаштувань серверу на якому знаходиться сайт і таке інше. Адже тоді користувачі зможуть маніпулювати вашим сайтом без вашої участі, розміщувати власну рекламу, викрадати персональні дані інших користувачів і, навіть видалити сайт з Інтернету.

Технології, що використовуються для розробки інтернет-ресурсів мають свою класифікацію. Основою всіх сторінок, що ми бачимо в Інтернеті є технології HTML та CSS. Вони не є класичними мовами програмування та відповідають за логічну структуру сторінки та її стилізацію.

Мови програмування, що використовуються при розробці інтернет-ресурсів поділяються на декілька груп [3]. До першої належать ті з них, код яких виконується на комп'ютері відвідувача сайту - в його браузері. Це JavaScript та велика кількість бібліотек написаних на цій мові. Програми, написані на JavaScript, вбудовуються в код Web-сторінок (або виносяться в окремий файл з викликом з Web-сторінки). Основним призначенням JavaScript [7] є додання динамічності веб-сторінці – випадуючі меню навігації, яскраві кнопки, ефектні переходи, тощо. Функції JavaScript, дозволяють працювати лише з ресурсами клієнтської машини. У другу групу потрапляють ті мови, програми на яких виконуються на тому комп'ютері, де розташований Web-сервер. Ця група набагато більша та найпопулярнішими мовами програмування, що використовують при розробці серверної частини є: PHP, Ruby, C#. Такі програми виконуються на стороні сервера і тому вони починають працювати до завантаження сторінки, після подачі запиту (наприклад, введення адреси). Вони обробляються програмою-сервером і як відповідь на запит видають динамічно (тобто в залежності від запиту, інтерактивно) згенеровані сторінки. До третьої групи відносять SQL (структуровану мову запитів) та реляційні бази даних MySQL, MSSQL та інші.

Основною задачею яку реалізує третя група є задача зберігання всієї інформації, що стосується сайту, а саме: персональних даних користувача, логінів, паролів, різноманітних налаштувань, набору інформації що повинна відобразитися на тій чи іншій сторінці.

Окремо слід сказати про таку технологію як **CMS** ("Content Management System", що означає "Система керування вмістом"). Такі системи також базуються на HTML, CSS та різноманітних мовах програмування, що згадані раніше, але користувачеві пропонуються вже готові рішення, які достатньо встановити та провести налаштування і наповнити контентом відповідно до своїх потреб. Це досить зручно, адже не потрібно займатись самостійною розробкою всього необхідного функціоналу чи замовляти сайт в компанії, що займаються веб-розробкою. До найпопулярніших CMS відносять: WordPress [8], Drupal, Magento, Joomla [9], OpenCms [10], phpBB [11] та інші. Приведемо огляд всіх засобів веб-розробки, що вказані вище.

**HTML** – це мова гіпертекстової розмітки, яка дозволяє вказати браузеру як необхідно відобража-

ти інформацію на екрані [12-14]. Головною метою цієї мови є структуризація і поділ на логічні блоки всієї наявної інформації. Раніше HTML відповідала і за зовнішній вигляд інформації, що представлена на сторінці, але зараз цю функцію виконує CSS.

**CSS** ("Cascading Style Sheets" - каскадні таблиці стилів) [15] – не є класичною мовою програмування. Це лише таблиці стилів, що вказують браузеру як саме відображати ті чи інші елементи HTML документа. Всі створені браузери, які зараз існують, розроблено для того, щоб відображати в зручну для сприйняття форму того, що вказано в HTML та CSS документах.

**JavaScript** – це мова програмування, головною метою якої є надання інтерактивності веб-сторінкам. З її допомогою можна дізнатися про дії (натиск на кнопки, прокрутка сторінки, зміна розширення браузера), які виконує користувач та відповідно до них запустити виконання певних сценаріїв, отримати доступ до елементів HTML – сторінки і виконувати над ними різноманітні маніпуляції та операції. Ця мова дозволяє додавати на веб-сторінки анімацію, виводити інформацію не переважанняючи при цьому сторінку та багато іншого.

До переваг цієї мови можна віднести таке: активно розвивається і використовується на просторах інтернету; широкі можливості мови, що дозволяють реалізувати будь-які потреби; наявність великої кількості готових рішень які досить просто інтегрувати до власного сайту.

Недоліки: для повноцінної роботи потребує тривалого вивчення; наявність великої кількості скриптів на сторінці сповільнює її завантаження.

**PHP** - це мова програмування, призначена саме для створення сайтів [16]. Мета мови полягає в тому, щоб дозволити веб-розробникам швидко створювати сторінки, що генеруються динамічно. Крім того, використання PHP дозволяє підтримувати деякий рівень інтерактивності з користувачем: пошук інформації, продаж продуктів, конференції тощо, адже веб-сторінки - це не тільки текст та картинка, а ще й взаємодія з користувачем. PHP працює як частина веб-сервера, тому відображення сайту на PHP не залежить від конфігурації машини користувача.

До переваг відносять: найпопулярніша мова програмування для розробки серверної частини; велика кількість готових рішень (фреймворків), що дозволяють створювати інтернет-ресурси в короткі терміни, масштабувати сайт, а також гарантують легкість обслуговування [17]. Серед них особливо популярні наступні Laravel, CodeIgniter, CakePHP, Yii ; кросплатформеність – додатки розроблені на PHP підтримуються в більшості сучасних операційних систем.

Недоліки: має обмежений набір функцій для роботи з виключеннями; наявні проблеми з безпекою у веб-додатках; не підходить для створення настільних додатків чи системних компонентів.

**Ruby** – динамічна мова програмування, розроблена спеціально під об'єктно-орієнтовану пара-

дигму програмування. В веб-розробці використовується відкритий фреймворк під назвою Rails [18].

Переваги: швидкість розробки веб-додатків; додаткові засоби забезпечення безпеки в порівнянні з іншими мовами; вбудований компілятор; має безліч функцій для роботи з символами і строками.

Недоліки: високий поріг входу. Це означає що ця мова програмування потребує інтенсивного вивчення і великої кількості додаткових знань; відсутність великої кількості навчальних матеріалів та посібників; розвиток самої мови програмування і додавання нових можливостей відбувається досить повільно.

Щодо технології **SQL** та **реляційних баз даних**, то вони є найпопулярнішим засобом роботи з даними, яка дозволяє зберігати, сортувати, і вибрати інформацію.

До переваг відносять:

- значне скорочення коду (іноді в 2-3 рази) в порівнянні з файловими варіантами WEB-додатків, що скорочує час розробки та спрощує процес налагодження;

- висока швидкість виконання процедур запитів в СУБД.

Недоліки:

- Залежність програми не тільки від працездатності WEB-сервера, але і від працездатності сервера даних.

Зауважимо, що самостійна розробка "з нуля" всіх частин вашого веб-ресурсу досить громіздкий і складний процес, до якого звертаються лише у випадку необхідності вивчення однієї з наведених технологій. До самостійного написання веб-ресурсу слід братися тільки у випадку, коли ви готові витратити велику кількість часу на вивчення всіх цих технологій і бажаєте стати веб-розробником. Набагато частіше програмісти і звичайні користувачі користуються готовими рішеннями, що є каркасом для майбутнього сайту. Програмісти частіше використовують фреймворки, котрі написані однією з мов програмування. Вони надають готові і протестовані рішення для найбільш вживаних функцій, що можуть бути використані на сайті, але залишають за розробником право на написання додаткового функціоналу і повну розробку зовнішнього вигляду.

Звичайним же користувачам, на думку авторів, краще користуватися такою технологією як CMS. Головною її особливістю і перевагою є наявність величезною кількості шаблонів і простота у використанні. CMS мають зрозумілий і досить зручний інтерфейс, що дозволяє знизити поріг входу користувача при початку роботи. Також їх особливістю є плагіни – це невеликі веб-додатки, що дозволяють розширювати існуючий функціонал і налаштувати власний веб-ресурс. Безперечною перевагою CMS є можливість здійснення доступу до редагування інформації на сайті різними адміністраторами, можливе чітке розмежування прав на редагування окремих блоків різними людьми. При цьому адміністратори можуть фізично розташовуватися в різних точках земної кулі. Таким чином, можна



налагодити збір інформації на сайті з багатьох джерел. Як результат - автоматизований інструмент підтримки актуальної інформації на сайті, де робота по наповненню інформацією розподілена між філіалами, відділами, тощо. Одні вузько спеціалізовані (скажемо, для інтернет-магазинів), другі універсальні (сайти, портали), а треті - найкраще підходять для форумів.

Серед всіх наявних CMS виокремимо наступні:

- Drupal - система управління веб-сайтами з відкритим кодом, яка розробляється та підтримується великою кількістю людей з усього світу. Система піддається розширенню за рахунок модулів. Drupal можна використовувати при створенні соціальних мереж, порталів, інтернет-газет, різного роду блогів, тощо. Ця система має більшість функцій, що підтримуються іншими CMS, серед них: створення блоків новин, фотогалерей, карти сайту, пошук, реєстрація та авторизація користувачів, календар, наявність коментарів.

- Magento – це потужна CMS для організації електронної комерції. Вона заточена під розробку та створення інтернет-магазинів, де ви можете продавати різноманітні товари. Серед переваг виокремимо високу безпеку даної системи, наявність великої кількості необхідного і добре налаштованого функціоналу для роботи інтернет-магазину, простоту розширення і масштабування проекту у разі необхідності розширення сайту.

- Joomla – є безкоштовною системою для створення веб-сайтів. Це проект з відкритим кодом, тобто безкоштовний. Він постійно розвивається за рахунок великої кількості веб-розробників, що користуються нею. До недоліків цієї системи можна віднести неможливість виникнення проблем з управлінням системою через перевантаженість панелі керування графічними елементами та надмірне споживання ресурсів серверу.

- OpenCms – система керування контентом з відкритим кодом, що поширюється безкоштовно. Представляє собою надійну і високопродуктивну систему. Має модульну структуру збільшення функціональності. Серед стандартних шаблонів наявні: візуальний редактор, блог, форум, інтернет-магазин. Має безліч функцій, що забезпечують можливість витримувати великі навантаження.

- phpBB – популярна CMS, розроблена засобами PHP спеціально під організацію форумів і має відкритий вихідний код. Як і більшість CMS підтримує реляційні бази даних. До переваг відносять: просту систему шаблонів, багатомовний інтерфейс, велику кількість навчальних матеріалів і посібників, значне число веб-додатків для розширення функціональності.

- WordPress – наразі найпопулярніша CMS в світі. Гнучка в налаштуванні, має розвинуті бази розширень і шаблонів, легко піддається змінам в код і дизайні, добре оптимізована під пошукові системи, є відкритою для загального доступу. Спершу розроблялася для ведення блогів, але зараз

являє собою багатофункціональну CMS з безліччю користувачів. Можливості WordPress можуть бути значно розширені за допомогою простої і зрозумілої системи модулів (плагінів і шаблонів), що підключаються. У зв'язку з високою популярністю ця система постійно розвивається і доповнюється новим функціоналом. Також наявна швидка реакція розробників на знайдені помилки в системі.

На основі технології CMS WordPress, а також за допомогою HTML, CSS та JavaScript авторами було розроблено сайт навчальної кафедри університету, що відповідає всім поставленим вимогам. Завдяки зручності і гарній оптимізації системи розробка сайту не викликала великих труднощів і затрат по ресурсам. Розроблений сайт можна віднести до категорії “сайт-візитка” і він дозволяє ознайомитися з роботою кафедри, її успіхами та досягненнями у науковій сфері, напрямками роботи, досягненнями випускників кафедри, порадами для абітурієнтів, тощо. Завдяки простій і зрозумілій системі навігації, на сайті можна швидко і без зусиль знайти всю необхідну інформацію. Перевагами сайту які забезпечені за допомогою CMS WordPress є:

- Зручність. Завдяки зручній системі навігації знайти необхідну інформацію не становить великих зусиль.

- Простота. Продумана ієрархія сайту та доступність сторінок гарантує зручність користування сайтом.

- Функціональність. Наявність можливості значного розширення функціональних можливостей сайту за допомогою різноманітних плагінів.

- Прямий контакт з адміністрацією сайту та кафедрою у вигляді спеціальних контактних форм для надсилання електронних листів на кафедру.

Наведемо остаточно рекомендації щодо вибору технологій веб-розробки відповідно до кожного типу сайту:

1. Сайт-візитка. Не великий за розміром і не складний за будовою, то рекомендуємо декілька варіантів:

- самостійна розробка засобами HTML, CSS та за необхідності JavaScript. Тоді слід пам'ятати, що вся розміщена на сайті інформація буде статичною. Для її зміни або редагування необхідно буде вносити відповідні зміни прямо в код сторінки, що не завжди зручно;

- використання систем керування контентом, що забезпечать простоту і надійність вашого інтернет-ресурсу. Наприклад: WordPress, Joomla, Drupal.

2. Корпоративний сайт. Краще використовувати готові рішення на базі CMS (WordPress, Drupal, OpenCms) або фреймворки мов: PHP чи Ruby. Цей вибір пояснюється відкритістю, постійною підтримкою і безкоштовністю цих систем. Якщо ж брати за основу готові фреймворки, то відповідно до мови програмування потрібно звернути увагу на: PHP – Laravel, Yii; Ruby – Ruby on Rails. Слід пам'ятати, що використання фреймвор-

ків дає більшу свободу при розробці проекту і дозволяє додавати тільки необхідний функціонал, але при цьому потребує більше знань в області програмування і часу на розробку.

3. Форум. Це досить об'ємний проект, який можливо буде потребувати певного масштабування. Тому краще використовувати готові рішення на базі спеціалізованих CMS. При розробці форуму потрібно з самого початку враховувати можливість збільшення його розділів і кількості користувачів, які будуть ним користуватися. Саме тому самостійна розробка потребує багато часу і великого об'єму знань у галузі веб-розробки. Оптимальною в цьому випадку є спеціалізована CMS phpBB.

4. Промо-сайт. За структурою і складністю розробки схожий на сайт-візитку, а тому шляхи створення подібні. Головною відмінністю цих двох типів сайтів є наявність великої кількості різноманітної графіки на промо-сайті. Адже сама ідея сайту полягає в тому, що він повинен бути схожий на рекламний буклет і максимально привертати уваги відвідувачів. Якщо розробляти такий сайт власними силами, то до загальних технологій HTML, CSS, JavaScript додається PHP, за допомогою якої необхідно буде налаштувати форму для зв'язку користувачів з адміністрацією сайту. Це надає можливість потенційним клієнтам отримувати відповіді на додаткові питання з приводу тих речей, рекламу яких ви розміщуєте на сайті. Для цього типу сайту оптимальним вибором є CMS з підтримкою плагінів для роботи з різноманітною графікою. Більшість CMS має подібні плагіни, але найкраще з цим завданням впорається CMS Drupal.

5. Блог. Особистий блог - це можливість розміщувати відео та аудіо повідомлення, текстові публікації та фотографії. Також необхідна наявність можливості залишати коментарі під вашими публікаціями, адже вам як автору необхідно знати думку інших і мати змогу спілкуватися з ними. З цього випливає, що адміністратор сайту повинен мати можливість проводити модерацию цих коментарів та видалення тих, які порушують правила вашого сайту. У цьому випадку, найкращим рішенням буде використання CMS WordPress, яка з самого початку свого існування розроблялася саме для цих потреб. Вона поєднує в собі простоту викорис-

тання, зрозумілий інтерфейс, наявність всього необхідного функціоналу та дозволяє мінімізувати затрати при розробці сайту.

6. Інтернет-магазин. При розробці інтернет магазину варто досить ретельно підбирати набір використовуваних технологій, адже необхідно врахувати велику кількість факторів. Перш за все, потрібно врахувати питання безпеки всієї присутньої на сайті інформації. Користувачі залишають свої особисті данні при оформленні замовлення, проводять платежі, використовуючи банківські рахунки.

Слід враховувати можливе розростання магазину за рахунок розширення асортименту товарів, важливо передбачити можливість зручного додавання нових розділів та модулів до вашого інтернет-магазину.

Не менш необхідною є можливість спілкування адміністрації магазину з клієнтом. Для цього випадку найкраще використовувати готові рішення на базі фреймворків або CMS Magento. Якщо немає необхідності у розробці персональних рішень для вашого сайту, оптимально використовувати Magento. Ця система керування контентом пропонує користувачам достатню кількість плагінів і функціональних можливостей. Іншим варіантом є використання популярних фреймворків Laravel та Yii, що написані мовою PHP. Використання цих технологій потребує більшої кількості часу і знань мови програмування PHP, але дозволяє підключити тільки необхідний функціонал і тим самим не перевантажувати сайт.

## Висновок

Проведено аналіз технологій веб-розробки та визначено доцільність їх використання у тій чи іншій ситуації.

Надано практичні поради з організації процесу створення сайту, які дозволять мінімізувати витрати при досягненні кінцевої мети.

Проведено аналіз технологій створення сайтів; виокремлено основні категорії інтернет-ресурсів які наразі існують в інтернеті; надано короткий та змістовний огляд сучасних технологій розробки сайтів; сформовано перелік переваг та недоліків найпопулярніших засобів розробки.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нильсен, Я. Веб-дизайн: анализ удобства использования веб-сайтов по движению глаз / Я. Нильсен, К. Перниче. — М.: Вильямс, 2010. — 620 с.
2. Берд, Дж. Веб-дизайн. Руководство разработчика / Дж. Берд. — СПб.: Питер, 2012. — 526 с.
3. Ichanska N.V., Podoshvelev Yu.G., Smitskiy O., Rybachenko K. A. Quality selection of software to build a service of electronic equipment sales. - СУНЗ. - Полтава : ПолтНТУ, 2018.- № 3 (49). - С. 111-116., doi:<https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.3.111>.
4. Development of software service for sale of vehicles / N. Ichanska, A. Gritsenko, V. Shefer // СУНЗ. - Полтава : ПолтНТУ, 2018.- № 4 (50). - С. 105-109., doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.4.105>.
5. Модернізація верстки сайту шляхом використання методу адаптивних сіток / Ічанська Н.В., Сіровий С.С. // СУНЗ. - Полтава: ПНТУ, 2019. - Т. 2 (54). - С. 99-103., doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.2.099>
6. Algorithm of identification of nonlinear technical systems according to measured data / O. Shefer, V. Galai // Systems of control, navigation and communication. - Poltava: Polt NTU, 2014. - №3 (31). - P. 91-95.
7. JavaScript, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://uk.wikipedia.org/wiki/JavaScript>.
8. WordPress, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wordpress.org/>.

9. Joomla, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.joomla.org/about-joomla.html>.
10. OpenCms, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.opencms.org/en/>.
11. phpBB, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.phpbb.com/>.
12. Гончаров, А.Ю. Web-дизайн: HTML, JavaScript и CSS. Карманный справочник / А.Ю. Гончаров. — КУДИЦ-ПРЕСС, 2007. — 540 с.
13. HTML, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/HTML>.
14. Макнейл, П. Веб-дизайн. Идеи, секреты, советы / П. Макнейл. — СПб.: Питер, 2011. — 677 с.
15. CSS, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/CSS>.
16. PHP, [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://php.net/docs.php>.
17. Современные PHP-фреймворки – полный список лидеров [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://phpinside.ru/?q=node/841>
18. Томас Д. Гибкая разработка веб-приложений в среде Rails / Д. Томас, Д. Хэнссон. – Питер, 2007. – 720 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. О. В. Шефер,

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

Received (Надійшла) 10.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

### Оптимальный выбор методов организации Интернет-ресурсов

Н. В. Ичанская

**Предметом** нашего исследования является изучение существующих методов и средств для создания и организации собственного интернет ресурс. Анализ необходимых пользователю ресурсов и знаний, опираясь на выбранные методы организации интернет ресурса, представляет собой совокупность программных, информационных, а также медийных средств, логически связанные между собой, и при правильном сочетании позволяют донести до потенциальных пользователей всю необходимую информацию. Ведь сейчас существует множество путей и методов для создания сайта, и выбрать оптимальные именно для своей цели достаточно сложная задача, которая требует детального разбора и планирования. **Результаты** - сформирован перечень оптимальных средств по каждой из существующих категорий интернет-ресурсов. Рассмотрены наиболее распространенные и популярные средства для работы с сайтами, сформирован перечень преимуществ и недостатков для каждого из них. Проведена широкая исследовательская работа с изучением самых распространенных и популярных категорий интернет-ресурсов, информационных порталов, веб-страниц, и современных средств для их создания, с учетом ее результатов, предложен оптимальный набор средств для создания конкретного сайта, а именно: сайта кафедры университета. Предоставлено оптимальный перечень методов и программных средств для создания различных интернет-ресурсов. Следуя шагам приведенные в примере, пользователь может самостоятельно попробовать создать собственный интернет-ресурс. **Вывод** - систематизация всех результатов исследовательской работы, предложенной авторами, позволит читателю лучше ориентироваться в сфере разработки интернет-ресурсов и, выбрать оптимальный набор инструментов в соответствии со своими потребностями и определиться с перечнем вопросов, которые требуют дальнейшего разбора и углубленного изучения. Опираясь на проведенные в статье исследования, читатель сможет с легкостью определить, что именно ему нужно для создания собственного интернет-ресурса и успешно создать его. Ведь правильный выбор средств - это основа для успешного создания сайта.

**Ключевые слова:** инструменты веб-разработки, языки программирования, базы данных, каскадные таблицы стилей, язык гипертекстовой разметки, PHP, Ruby, Perl, WordPress, системы управления контентом, Drupal, Joomla, Magento, шаблоны, плагины.

### Optimal selection of tools for creation of internet resources

N. Ichanska

**The subject** our study is the study of existing methods and tools for creating and organizing its own internet resource, analysis of resources and knowledge needed by the user, based on the chosen methods of organization of the Internet resource, which is a set of software, information and media that are logically interrelated, and with the correct combination allows you to convey to potential users all the necessary information. After all, there are a lot of ways and methods for creating a site, and to choose the optimal ones, it is precisely for its purpose a rather difficult task that requires detailed analysis and planning. **Results:** relying on results of the research, a list of optimal means has been generated for each of the existing categories of Internet resources. The most common and popular tools for work with the sites are considered, a list of advantages and disadvantages of each of them is formed. A wide research work was conducted with the study of the most common and popular categories of Internet resources, and modern means for their creation, taking into account its results, the optimal set of means for creation of a specific site was proposed, namely: the site of the department of the university. The optimal list of methods and software tools for creation of various Internet resources is given. Following the steps in the example, the user can independently try to create his own online resource. **Conclusion:** systematization of all research results proposed by the authors, will allow the reader to better focus on the development of Internet resources, and choose the best set of tools in accordance with their needs and determine the list of issues that require further analysis and in-depth study. Based on the research conducted in the article, we will be able to read from the beginning and see what exactly he needs to create his own internet resource and successfully create it. After all, the right choice of means is the basis for the successful creation of the site.

**Keywords:** web development tools, programming languages, databases, cascading style sheets, hypertext markup language, PHP, Ruby, Perl, WordPress, Content Management Systems, Drupal, Joomla, Magento, Templates, Plugins.

В. В. Кальченко

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського "ХАІ", Харків, Україна

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ АУДИТУ БЕЗПЕКИ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ В ДЕРЖАВНИХ ОРГАНАХ

**Предметом** статті є аналіз існуючих методик проведення аудиту безпеки, які нормативно закріплені в Україні та використовуються посадовими особами Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації України. **Результати.** Проаналізовано існуючу методику проведення перевірок захищеності інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах державних органів, органів місцевого самоврядування, підприємств установ та організацій. Враховуючи недоліки існуючої системи проведення перевірок з захисту інформації та введенням в дію Закону України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» від 05.10.2017 року № 2163-VIII запропоновано підходи до проведення перевірок кіберзахисту державних інформаційних ресурсів та інформації, вимога щодо захисту якої встановлено законодавством. **Висновок.** Обґрунтована необхідність розробки методології визначення реального стану захищеності інформаційних систем, в яких циркулює інформація, що потребує захисту згідно вимог законодавства України.

**Ключові слова:** тестування на проникнення, пентестінг, кібербезпека, кіберзахист.

### Вступ

Конституція України проголошує, що «забезпечення ... інформаційної безпеки є найважливішими функціями держави» [1]. Це досягається за рахунок властивості системи в перебігу заданого часу протистояти несанкціонованому зняттю і модифікації інформації [2]. При цьому забезпечується конфіденційність, цілісність і доступність інформації. Якщо питань забезпечення конфіденційності фахівцями в області інформаційної безпеки приділяється досить багато уваги, то питання забезпечення цілісності та доступності вимагають серйозного опрацювання. Методи забезпечення цілісності та доступності багато в чому перетинаються. Це резервування інформації, надійність технічної складової, наявність надійних і дубльованих каналів передачі інформації [3, 4]. Разом з тим збігаються і загрози цим властивостям. Це в першу чергу деструктивні дії, результатом яких є неможливість отримати неспотворену інформацію або взагалі її знаходження. Це протидія двох начал особливо яскраво проявляється в кіберпросторі, в якому воно виходить на новий рівень протистояння. На даний час в Україні гостро постало питання створення системи кібербезпеки, яка повинна забезпечити виявлення нових і невідомих кіберзагроз та кібератак в ході моніторингу кіберпростору, аналізу виявлених кіберзагроз (кібератак), автоматичний вибір параметрів функціонування інформаційних систем і мереж зв'язку в умовах деструктивних впливів.

Протидія двох начал вимагає проведення розвідки в кіберпросторі з подальшим цифровим проникненням в мережі і системи управління потенційного противника і передбачає використання абсолютно нових джерел, форм і способів збору даних та інформації, розробки нових розвідувальних засобів і технологій, тактичних і технічних прийомів. Для попередження і мінімізації деструктивного впливу кіберзагроз створюються відповідні системи захисту. Проте виникає проблема оцінки того, наскільки якісно система захисту може протидіяти загрозам. На момент написання статті в Україні наявний лише один

нормативний документ який в якому прямо йде мова про кібербезпеку та протидію кіберзагрозам, а саме [5]. Цей нормативний документ визначає правові та організаційні основи забезпечення безпеки в кіберпросторі, та визначає поняття критичної інфраструктури. Варто зазначити, що даний документ є першим національним нормативним документом з цієї тематики, має декларативний характер та не містить чітких вимог до інформаційних систем.

**Метою даної статті** є аналіз існуючої системи аудиту безпеки інформаційних систем та вироблення нових підходів до проведення оцінювання захищеності комп'ютерних систем через застосування тестування на проникнення.

### Результати досліджень

**1. Огляд законодавства в сфері проведення перевірок захищеності інформації в комп'ютерних системах.** Під аудитом інформаційної безпеки інформаційних систем розуміють процес одержання об'єктивної, якісної та кількісної оцінок поточного стану безпеки комп'ютерної системи, отримання комплексної оцінки рівня інформаційної безпеки. Необхідність проведення регулярного аудиту інформаційної безпеки полягає в здійсненні оцінки реального стану захищеності інформаційних ресурсів в комп'ютерній системі та перевірки спроможності системи безпеки протидіяти сучасним загрозам, які постійно змінюються та вдосконалюються. В нашій країні аудит інформаційної безпеки державних органів реалізується шляхом проведення перевірок стану технічного захисту інформації (ТЗІ).

На даний час основними документами, які регулюють питання пов'язані з захистом інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах є [6, 7]. Згідно даних нормативних документів, основною вимогою до інформаційних систем з точки зору безпеки – є наявність в них побудованої комплексної системи захисту інформації (КСЗІ) з підтвердженою відповідністю. При цьому необхідність побудови КСЗІ визначається типом інформації, що циркулює в даній системі. Такими видами є секретна інформація,

службова інформація, конфіденційна інформація (наприклад персональні дані) та державні інформаційні ресурси. Порядок побудови та вимоги до цих систем визначаються нормативними документами системи технічного захисту інформації (НД ТЗІ). Згідно [8] головним регулятором в області інформаційної безпеки є Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України. Згідно даного нормативного акту служба не тільки встановлює вимоги з захисту інформації, але і проводить перевірки стану захищеності систем. Свою діяльність з перевірок захисту інформації в комп'ютерних системах, державний регулятор здійснює на підставі [9, 10].

**2. Аналіз існуючої моделі проведення перевірок стану ТЗІ в комп'ютерних системах державних органів.** Перевірки стану ТЗІ здійснюється посадовими особами регіональних управлінь Держспецзв'язку. Основним документом, який регламентує проведення даних заходів є [9]. Згідно даного документу національна процедура проведення аудиту інформаційної безпеки складається з 6 етапів:

1. Вивчення загальних питань. На даному етапі з'ясовується юридична назва установи, її адреса, структура, основні завдання діяльності, умови розташування, пропускний режим, наявність систем захисту, тощо.

2. Аналіз заходів з захисту інформації з обмеженим доступом (ІзОД), розголошення якої може призвести до негативних наслідків як для установи в цілому, так і для окремих її робітників.

3. Аналіз заходів з ТЗІ, що циркулює в комп'ютерних системах, засобах розмноження документів, та інших пристроях.

4. Аналіз заходів з ТЗІ при створенні різноманітної продукції або технологій для державних потреб, при виконанні науково-дослідних, дослідно-конструкторських робіт в державних інтересах.

5. Аналіз заходів з ТЗІ під час проведення проектування, будівництва, реконструкції або капітального ремонту ОІД.

6. Аналіз заходів з технічного захисту ІзОД під час прийому іноземних делегацій.

Враховуючи мету статті, розглянемо більш детально третій етап, а саме аналіз заходів з ТЗІ в інформаційних, інформаційно-телекомунікаційних системах (ІТС). На даному етапі:

- визначаються комп'ютерні системи в яких циркулює інформація, що потребує захисту згідно законодавства України;

- з'ясовується питання щодо наявності створених КСЗІ в даних системах;

- визначаються посадові особи відповідальні за захист інформації в установі в цілому, та в окремих комп'ютерних системах;

- перевіряються дані зазначені в технічній та експлуатаційній документації на КСЗІ реальним умовам розташування та функціонування кожної комп'ютерної системи та системи безпеки;

- визначаються типи інформації яка циркулює в комп'ютерної системи, що оцінюється, та проходить визначення програмних засобів що використовуються для її обробки;

- перевіряється комплектистність технічної та експлуатаційної документації на КСЗІ, та її відповідність вимогам НД ТЗІ;

- перевіряється працездатність засобів захисту всіх складових комп'ютерної системи;

- перевіряється наявність антивірусу та періодичність його оновлення;

- перевіряється коректність налаштування засобів захисту в комп'ютерних системах. Як правило, для комп'ютерної системи з кількістю робочих станцій більше 10 штук, в якості засобів захисту виступають сервіси безпеки операційної системи Windows. Враховуючи даний факт, здійснюється порівняння налаштувань серверів та робочих станцій з вимогами, які висуваються в відповідних інструкціях, що входять до складу документації на КСЗІ; перевіряється виконання умов експлуатації комп'ютерної системи, які зазначені в експертному висновку на КСЗІ; складається звіт де визначається повнота та достатність заходів з ТЗІ і визначається відповідність КСЗІ вимогам нормативно-правових актів. При цьому варто зазначити, що перевірка налаштувань параметрів безпеки здійснюється відповідно до інструкцій (настанов), які були розроблені організацією, що створювала КСЗІ. В разі відсутності системи захисту, перевірка налаштувань параметрів безпеки не здійснюється через фізичну відсутність еталонного документу з яким необхідно порівнювати поточні налаштування системи. За результатами перевірки складається акт, в якому надаються рекомендації (вимоги) щодо приведення стану ТЗІ у відповідність до вимог законодавства України, а саме створення КСЗІ. Крім того надаються рекомендації щодо розробки певних документів, необхідних для створення та впровадження КСЗІ. Прикладами таких заходів є: створення комісії та проведення категоріювання комп'ютерів на яких здійснюється обробка ІзОД; створення комісії та проведення обстеження функціонування комп'ютерної системи; аналіз інформаційної діяльності установи та складання моделі загроз, моделі порушника для інформації; розробку політики безпеки; складання плану захисту інформації; розробки технічного завдання на створення КСЗІ та погодження його з Адміністрацією Держспецзв'язку.

Проте конкретних рекомендацій стосовно конфігурування параметрів безпеки операційних систем, конфігурування мережевого обладнання, тощо, акти перевірок не містять. Це пов'язано з тим, що НД ТЗІ не містять ніяких рекомендацій з цих питань. Як наслідок у посадових осіб Держспецзв'язку немає правових підстав для надання рекомендацій, які безпосередньо впливають на фактичну захищеність комп'ютерної системи.

Варто зазначити, що керівництвом Держспецзв'язку були зроблені кроки в напрямку організації проведення перевірок фактичної захищеності комп'ютерних систем. Результатом таких кроків стало розроблення та ухвалення нормативного документу [10]. Фактично даний вид оцінки є тестом на проникнення (penetration test, pentest). Тест на проникнення це симуляція атаки на систему, мережу, частину обладнання чи інші засоби обслуговування, з ме-

тою доказу того, наскільки ця система вразлива для реального нападу. Процес тестування максимально схожий на процес злому, який проводить зловмисник. В ході тесту відповідний фахівець (група фахівців) намагається отримати доступ до інформації, яка обробляється в комп'ютерній системі, отримати контроль над роботою системи, або вивести її з ладу. Такий фахівець (пентестер) виступає в ролі злодія, і намагається з'ясувати найбільш вразливі місця в системі, зафіксувати їх в звіті і передати відповідним працівникам організації-замовника для усунення. Під час проведення тесту йде визначення того, як система реагує на атаку (в незалежності від того, можливо чи ні порушити захист системи) і яку інформацію можна отримати в системі. За результатами проведених робіт власник системи отримує звіт в якому вказуються недоліки в системі інформаційної безпеки підприємства та надаються практичні рекомендації щодо усунення виявлених вразливостей. Такий тип перевірок проводиться лише одним підрозділом Держспецзв'язку, а саме CERT-UA (Computer Emergency Response Team of Ukraine - Команда реагування на комп'ютерні надзвичайні події України), який фізично дислокується в м. Києві (<https://cert.gov.ua/>). Враховуючи кількість державних органів, підприємств та організацій, а також об'єктів критичної інфраструктури даний факт не дозволяє в повному обсязі здійснювати перевірки на всіх зацікавлених державних установ. Враховуючи досвід автора з проведення перевірок стану ТЗІ та аналізу нормативних документів в цій сфері, можна виділити дві основні проблеми існуючої методики проведення аудиту безпеки інформаційних систем в нашій країні [11]:

- відсутні методології проведення пентестінгу та документів, які б давали рекомендації щодо підвищення рівня захищеності інформації. Враховуючи зміст та вимоги «Порядку оцінки стану захищеності державних інформаційних ресурсів в інформаційно-телекомунікаційних системах», затвердженого Адміністрацією Держспецзв'язку від 02.12.2014 №660, дана оцінка проводиться посадовими особами Держспецзв'язку виходячи з їх знань, умінь та суб'єктивних суджень;

- побудовою систем захисту інформації в більшості своїй займаються невеликі за чисельністю приватні суб'єкти господарювання, що мають ліцензію, видану Адміністрацією Держспецзв'язку. Враховуючи цей фактор, а також недосконалість НД ТЗІ на практиці виникає ситуація, коли один або декілька співробітників фірм-ліцензіатів приймають одноосібне рішення щодо конфігурування параметрів безпеки комп'ютерних систем. Таким чином, рішення приймається не на основі вимог нормативних документів, висновків наукових досліджень або експериментів, а лише на основі суб'єктивної думки зазначених осіб. При цьому з правової точки зору, посадовим особам Держспецзв'язку досить складно поставити під сумнів (опротестувати) конфігурацію системи захисту інформації.

Одним з варіантів вирішення даної проблеми було проведення тестування на проникнення відповідно до затвердженої методології, що б дало змогу провести оцінку отриманих результатів. Проте варто

констатувати, що необхідність обов'язкового проведення тестів на проникнення після побудови КСЗІ, на даний час нормативно не закріплена. Таким чином, в нашій країні побудова КСЗІ зводиться до правильного написання технічної та експлуатаційної документації, а державна експертиза - до перевірки правильності написання вищезазначених документів. Для об'єктивності варто зазначити, що процес погодження ТЗ передбачає аналіз заходів з захисту інформації. Проте опис системи може бути зроблений неправильно, що в свою чергу може призвести до неправильної оцінки фахівцями Держспецзв'язку вибраного профілю захищеності і вимог, які висуваються до системи.

Таким чином замовник отримує умовно захищену систему, яка не може протидіяти сучасним загрозам, але має необхідний перелік дозвільних документів (Атестат відповідності та експертний висновок про відповідність КСЗІ вимогам НД ТЗІ),

Також проблемним питанням є той факт, що при наявності в установі it-відділу або відділу інформаційної безпеки, вони не можуть підтвердити достатність вжитих заходів з безпеки шляхом проведення відповідної державної експертизи. При цьому сама процедура проведення такої експертизи потребує виділення значних грошових коштів. Враховуючи хронічне недофінансування робіт з захисту інформації, виникають парадоксальні ситуації: з одного боку існують комп'ютерні системи, параметри безпеки яких налагоджені відповідно до рекомендацій провідних компаній з інформаційної безпеки, з іншої сторони для того щоб це підтвердити – необхідно сплатити грошові кошти комерційній структурі з відповідною ліцензією, фахівці якої можуть мати меншу кваліфікацію, проте зроблять необхідний висновок. Таким чином Атестат відповідності на автоматизовану систему класу «З» отримати неможливо.

**3. Шляхи вирішення проблеми захисту інформації в національних комп'ютерних системах.** Можливим варіантом вирішення даної проблеми може бути розробка національної методології проведення тестування на проникнення та впровадження (на законодавчому рівні) механізму підтвердження захищеності інформації за результатами проведення відповідного тестування фахівцями Держспецзв'язку.

Як зазначалось вище, процес тестування максимально схожий на процес злому, який проводить зловмисник. В ході тесту, група фахівців (так званих етичних хакерів) намагається порушити одне або декількох з трьох основних властивостей інформації, що обробляється в системі: конфіденційності, цілісності, доступності. Фактично, в ході тесту з'ясовуються, яким чином можна скомпрометувати цільову систему. При належному проведенні тестування, власник комп'ютерної системи отримує незалежну оцінку захищеності інформації в даній системі. В залежності від результатів можна проводити заходи з модернізації системи безпеки в цілому або вжиття більш доцільних заходів з безпеки, враховуючи розвиток засобів проникнення інформаційних систем.

Розглядаючи питання розробки національної методології тестування на проникнення, можна спи-



ратись на досвід провідних компаній світу та загально прийнятих методологій з цього питання. Можна виділити декілька найбільш розповсюджених методологій проведення тестування на проникнення, а саме: The Open Source Security Testing Methodology Manual (OSSTMM) [12]; The National Institute of Standards and Technology (NIST) Special Publication 800-115[13]; OWASP Testing Guide [14]; Penetration Testing Execution Standard (PTES) [15]; Information Systems Security Assessment Framework (ISSAF) [16].

Короткий опис даних методологій наведено в [11]. Кожна з даних методологій має свої недоліки та переваги. Проте використовуючи їх, можна розробити національну методологію, яка буде поєднувати всі переваги і враховувати особливості українського законодавства, розвиток національних комп'ютерних систем, їх особливостей, тощо [17, 18].

Розглядаючи необхідність розробки методології тестування на проникнення, варто зазначити, що кожна комп'ютерна система – є унікальною. Наприклад: одна система може будуватись на основі операційних систем Windows від корпорації Microsoft, інші – на основі багаточисельних версій Linux. Для обробки «чутливої» інформації можуть використовуватись не тільки стандартні програмні засоби Microsoft Office, OpenOffice, LibreOffice, але й спеціалізовані системи документообігу (наприклад FossDoc, АСКОД, Optima-WorkFlow-Стандарт, тощо). Також варто зазначити, що інформація може циркулювати в спеціалізованих, розподілених інформаційних системах. Прикладами таких систем можуть бути: інтегрована міжвідомча автоматизована система обміну інформацією щодо контролю осіб, транспортних засобів та вантажів, які перетинають державний кордон України (Гарт-1), що використовується Державною прикордонною службою України [19]; автоматизована інформаційна система «Податковий блок» Державної фіскальної служби України [20]; єдина інформаційна система Міністерства внутрішніх справ України [21]. В свою чергу це потребує розробки вузько-спеціалізованих методів тестування. Враховуючи вищезазначене, методологія тестування на проникнення повинна будуватись за модульним принципом. Кожен модуль – це деякий алгоритм тестування конкретної операційної системи, програмного продукту, підсистеми в цілому. Наприклад: алгоритм тестування контролера домену, системи керування базами даних, поштового серверу, серверу терміналів, Web, DNS, DHCP серверів, робочих станцій, тощо.

В загальному випадку процедуру проведення тестування пропонується поділити на 5 основних модулів: визначення об'єктів захисту, збір початкової інформації про цільову систему; визначення області дослідження, складання моделі загроз; пошук та визначення вразливостей; експлуатація вразливостей, проникнення в систему та пошук можливостей порушення одного або декількох властивостей «чутливої» інформації; складання звітних матеріалів.

Використання модульного принципу дозволить періодично оновлювати кожен модуль без затвердження, погодження всієї методології в цілому, що важливо з точки зору економії часу коли річ йде про національні нормативні акти.

## Висновок

Сучасні темпи розвитку комп'ютерної техніки, проведення спецслужбами, організованими кримінальними угрупованнями операцій у кіберпросторі потребують оперативного реагування на інциденти інформаційної безпеки зі сторони відповідних фахівців державних органів та впровадження сучасних засобів захисту інформації. Існуюча система побудови систем захисту комп'ютерних мереж морально застаріла і не відповідає викликам сучасності. В свою чергу методика проведення аудиту (перевірок) безпеки комп'ютерних систем в Україні також не відповідає міжнародним, загальноприйнятим стандартам. Сам принцип побудови та експлуатації КСЗІ не дає змоги оперативне реагувати та усувати програмні та апаратні вразливості, які стали загальновідомими. Це пов'язано з тим, що як будь-які зміни в налаштуваннях комплексу засобів захисту комп'ютерної системи потребують проведення додаткової державної експертизи. Внаслідок цього звичайні вразливості для комп'ютерних систем державних органів перетворюються на вразливості нульового дня. Звичайно для вирішення даної проблематики необхідно залучати міжнародні інституції, досвідчених фахівців та насамперед вносити зміни в законодавство в сфері захисту інформації. Проте з технічної точки зору, можливим методом підвищення реальної захищеності комп'ютерних систем – є періодичне проведення тестування на проникнення. Перевагою такого методу є визначення реальної захищеності, невисока вартість його проведення, та надання відповідним фахівцям (системним адміністраторам) практичних рекомендацій з налаштування параметрів безпеки комп'ютерних систем.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Конституція України: офіц. текст. Київ: КМ, 2013.93 с.
2. Певнев В.Я., Цуранов М.В. Математическая модель информационной безопасности. *Системы обработки информации*. 2010. №3. С. 62-64
3. Верескун М. В. Методичне забезпечення системи інформаційної безпеки промислових підприємств. *Економіка і організація управління*. 2014. № 1-2. С. 54-60
4. Певнев В.Я. Методы обеспечения целостности информации в инфокоммуникационных системах. *Вісник Національного технічного університету ХПИ. Серія: Техніка та електрофізика високих напруг*. Харків, 2015. № 51. С. 74-77
5. Про основні засади забезпечення кібербезпеки України: Закон України від 05.10.2017 р. № 2469-VIII від 21.06.2018, *ВВР*, 2018, № 31, ст.241
6. Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах: Закон України» від 05.07.1994. № 1170-VII ( 1170-18 ) від 27.03.2014, *ВВР*, 2014, N 22, ст.816

7. Про затвердження Правил забезпечення захисту інформації в інформаційних, телекомунікаційних та інформаційно-телекомунікаційних системах». Постанова Кабінету Міністрів України від 29.03.2006 р. №373 Офіційний вісник України 2006 р., № 13, стор. 164
8. Про Державну службу спеціального зв'язку та захисту інформації України. Закон України» №3475-IV від 23.02.2006 № 2163-VIII від 05.10.2017, *ВВР*, 2017, № 45, ст.403
9. Про затвердження Положення про державний контроль за станом ТЗІ. Наказ Адміністрації Держспецзв'язку від 16.05.2007 №87
10. Про затвердження Порядку оцінки стану захищеності державних інформаційних ресурсів в інформаційно-телекомунікаційних системах. Наказ Адміністрації Держспецзв'язку від 02.12.2014 №660
11. Кальченко В.В. Огляд методів проведення тестування на проникнення для оцінки захищеності комп'ютерних систем. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. №4. С. 109-114
12. The Open Source Security Testing Methodology Manual (OSSTMM). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.isecom.org/mirror/OSSTMM.3.pdf> (дата звернення: 27.03.2019)
13. Technical Guide to Information Security Testing and Assessment. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. Special Publication 800-115. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-115.pdf> (дата звернення: 27.03.2019)
14. OWASP Testing Guide v4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.owasp.org/index.php/OWASP\\_Testing\\_Project](https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Testing_Project) (дата звернення: 27.03.2019)
15. The Penetration Testing Execution Standard (PTES). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.pentest-standard.org/index.php/Main\\_Page](http://www.pentest-standard.org/index.php/Main_Page) (дата звернення: 27.03.2019)
16. Information Systems Security Assessment Framework (ISSAF). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.oissg.org/files/issaf0.2.1.pdf> (дата звернення: 27.03.2019)
17. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies. Zilina*, 2015. P. 266-271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982>
18. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // *Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010.* – Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.
19. «Про затвердження Положення про інформаційно-телекомунікаційну систему прикордонного контролю «Гарт-1» Державної прикордонної служби України. Наказ Адміністрації Державної прикордонної служби України від 20.09.2008 №810
20. Про введення в експлуатацію інформаційної системи «Податковий блок». Наказ ДПС України № 1197 від 24.12.2012
21. Про затвердження Положення про єдину інформаційну систему Міністерства внутрішніх справ та переліку її пріоритетних інформаційних ресурсів. Постанова Кабінету Міністрів України від 14.11.2018 р. №1024 Урядовий кур'єр офіц. видання. 2018. 12 (№ 235)

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І. В. Шостак,  
 Національний аерокосмічний університет "ХАІ", Харків  
 Received (Надійшла) 20.03.2019  
 Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.04.2019

#### Анализ существующей методики проведения аудита безопасности компьютерных систем в государственных органах

В. В. Кальченко

**Предметом** статьи является анализ существующих методик проведения аудита безопасности, нормативно закреплены в Украине и используются должностными лицами Государственной службы специальной связи и защиты информации Украины. **Результаты.** Проанализирована существующая методика проведения проверок защищенности информации в информационно-телекоммуникационных системах государственных органов, органов местного самоуправления, предприятий, учреждений и организаций. Учитывая недостатки существующей системы проведения проверок по защите информации и введением в действие Закона Украины «Об основных принципах обеспечения кибербезопасности Украины» от 05.10.2017 года № 2163-VIII предложены подходы к проведению проверок киберзащиты государственных информационных ресурсов и информации, требование относительно защиты которой установлено законодательством. **Вывод.** Обоснована необходимость разработки методологии определения реального состояния защищенности информационных систем, в которых циркулирует информация, что нуждается в защите в соответствии с требованиями законодательства Украины.

**Ключевые слова:** тестирование на проникновение, пентестинг, кибербезопасность, киберзащита.

#### Analysis of existing methods of audit of safety of computer systems in public authorities

V. Kalchenko

The subject of the article is an analysis of existing methods of conducting an audit of safety, which are regulated in Ukraine and used by officials of the State Service for Special Communications and Information Protection of Ukraine. **Results** An existing method of conducting inspections of information security in information and telecommunication systems of state bodies, local self-government bodies, enterprises of institutions and organizations has been analyzed. Taking into account the shortcomings of the existing system of information security inspections and the enactment of the Law of Ukraine "On the Basic Principles of Cybersecurity of Ukraine" dated 10/5/2017, No. 2163-VIII, the approaches to conducting cyber defense checks of state information resources and information, the requirement for protection of which is established by law, is proposed. **Conclusion.** The necessity of developing a methodology for determining the real state of the security of information systems in which circulating information that needs protection in accordance with the requirements of Ukrainian legislation is substantiated.

**Keywords:** penetration testing, pentesting, cyber security, cyber defense.

А. А. Коваленко, Г. А. Кучук, О. С. Ляшенко

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

<sup>2</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

## РОЗПОДІЛ РЕСУРСІВ БАГАТОФАЗНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ВЕЛИКИХ ДАНИХ ПРИ ВИСОКОІНТЕНСИВНОМУ ВХІДНОМУ ПОТОЦІ

Завдання оптимального проектування багатофазної системи обробки великих даних (БФСОВД) при високоінтенсивному вхідному потоці потребують застосування сучасних математичних і комп'ютерних методів та засобів. **Предметом дослідження** є ресурси багатофазної системи обробки великих даних. Мета дослідження – розроблення методу оптимального розподілу ресурсів БФСОВД при високоінтенсивному вхідному потоці, котрий враховує як можливість проведення аналізу даних у режимі реального часу, так і особливостей високоінтенсивного потоку вхідних даних із багатьох джерел. **Результати.** Визначено особливості високоінтенсивних потоків вхідних даних та показана можливість апроксимації його з достатньою точністю гауссівським розподілом. Також визначені особливості функціонування багатофазних систем та запропонована схема функціонування багатофазної системи обробки великих даних. Базуючись на отриманих результатах розроблена математична модель процесу оптимізації розподілу ресурсів багатофазної системи обробки великих даних при високоінтенсивному вхідному потоці. Для цього використано метод динамічного програмування. **Висновок.** В результаті отримана мінімальна кількість каналів в кожній фазі БФСОВД, при якій середній час аналізу даних в системі буде мінімальним.

**Ключові слова:** великі дані, багатофазна система масового обслуговування, обчислювальний ресурс, високоінтенсивний потік.

### Вступ

**Аналіз проблеми.** Зростаючий розвиток засобів обчислювальної техніки і інфокомунікаційних технологій привели до створення систем, які призначені для обробки даних і розподілені на великій території. У вузлах таких систем зосереджені потужні обчислювальні ресурси, а самі вузли пов'язані між собою швидкодіючими каналами. Такого роду системи відносяться до класу систем розподіленої обробки даних (СРОД), аналіз і оптимізація функціонування яких потребують застосування сучасних математичних і комп'ютерних методів та засобів. Зокрема, в окремий клас можна виділити завдання оптимального проектування багатофазної системи обробки великих даних при високоінтенсивному вхідному потоці. Такі завдання виникають при вирішенні задач управління і контролю в умовах великого числа керованих об'єктів і контролюємих параметрів, вони вимагають створення систем обробки великих даних (СОВД), що дозволяють користувачам оперативно працювати в режимі реального часу (РРЧ), виконуючи функції додаткового аналізу з урахуванням ряду факторів, що не піддаються формалізації. Регулярний обмін інформацією між системою розподіленої обробки даних і інформаційними джерелами великих даних здійснюється з використанням множини вхідних інформаційних джерел систем відображення інформації (ВІД), та системи програмно-апаратних засобів, що забезпечують одночасну обробку вхідної інформації в режимі реального часу, працюють незалежно один від одного, формування звичного характеру пропонованої інформації; збереження інформації при відмовах і збоях тощо [1–6].

**Аналіз наукових публікацій.** При роботі з розподіленими даними в середовищі СРОД, при високоінтенсивному вхідному потоці великих даних, що потребують декілька кроків обробки в режимі реального часу, зазвичай використовуються багатофазні

СОВД (БФСОВД). БФСОВД характеризується наявністю декількох апаратно-технічних засобів (АТЗ), які послідовно обслуговують запити системи та виконують попередню обробку інформації. Аналіз таких систем є складним завданням. Розроблені методи аналізу засновані на зведенні системи до набору еквівалентних однофазних систем, для кожної з яких отримують імовірнісні стану системи в сталому режимі шляхом вирішення рівнянь Колмогорова. Однак при наявності в деяких фазах системи великої кількості альтернативних каналів обслуговування моделювання процесу функціонування системи при такому підході викликає значні труднощі. На сьогодні існує велика кількість всіляких підходів для моделювання таких або подібних систем [7–22]. Але в усіх роботах, що розглянуті, не приділено достатньої уваги випадку знаходження мінімальних витрат обчислювального ресурсу СОВД при врахуванні як можливості проведення аналізу даних у режимі реального часу, так і особливостей високоінтенсивного потоку вхідних даних із багатьох джерел.

**Постановка задачі.** Метою статті є розроблення методу оптимального розподілу ресурсів багатофазної системи обробки великих даних при високоінтенсивному вхідному потоці, котрий враховує як можливість проведення аналізу даних у режимі реального часу, так і особливостей високоінтенсивного потоку вхідних даних із багатьох джерел.

### 1. Особливості високоінтенсивних потоків вхідних даних

Випадковий потік однорідних подій є високоінтенсивним, якщо його інтенсивність має вигляд

$$\Lambda = \lambda \cdot N, \quad (1)$$

де  $\lambda > 0$  – деяка кінцева величина;  $N$  – значення великого параметра. У теоретичних дослідженнях передбачається, що  $N \rightarrow \infty$ , а в практичних реалізаціях його значення є достатньо великим (залежить

від системи, що розглядається, зазвичай, близько 100, або більше). Високоінтенсивний потік є гауссівським (ВІГ-поток), якщо розподіл ймовірностей кількості його подій, що наступили за час  $t$ , можна апроксимувати з достатньою точністю гауссівським розподілом з математичним очікуванням  $a$  і дисперсією  $\sigma^2$ :

$$a = \lambda \cdot N \cdot t, \quad \sigma^2 = (\lambda + \kappa) \cdot N \cdot t = \lambda \cdot N \cdot t + \kappa \cdot N \cdot t, \quad (2)$$

де  $\kappa$  – деякий параметр дисперсії).

У [23] показано що для широкого класу високоінтенсивних потоків (пуассонівських, рекурентних, ММРР, МАР і ін.) апроксимація за допомогою (1) є допустима, а величини  $a$  і  $\sigma^2$  можуть бути представлені в формі (2). Перелічимо основні властивості ВІГ-потоків:

– сума незалежних ВІГ-потоків із заданими параметрами інтенсивностей  $\lambda_k$  і параметрами дисперсій  $\kappa_k$  також є ВІГ-поток, параметри  $\lambda$  і  $\kappa$  якого дорівнюють сумам відповідних параметрів складаємих потоків, тобто

$$\lambda = \sum_k \lambda_k; \quad \kappa = \sum_k \kappa_k; \quad (3)$$

– просіяний з ймовірністю  $\tau$  ВІГ-потік з параметрами  $\lambda$  і  $\kappa$  є також ВІГ-поток з параметрами  $r \cdot \lambda$  і  $r^2 \cdot \kappa$ .

Відзначимо важливу особливість просіяного ВІГ-поток, яка полягає в тому, що дисперсія просіяного потоку змінюється більш значно, ніж його середнє значення. Такі зміни параметрів ВІГ-поток при досить малих значеннях  $r$  дозволяють апроксимувати просіяний ВІГ-потік високоінтенсивним пуассонівським потоком.

Розподілений за поліноміальною схемою з ймовірностями  $p_1, p_2, \dots, p_k, \dots, p_K$  ВІГ-потік з параметрами  $\lambda$  і  $\kappa$  є  $K$ -мірним корельованим ВІГ-поток, багатовимірний розподіл ймовірностей якого є  $K$ -мірним гауссівським, визначається багатовимірною характеристичною функцією  $h(\mathbf{u})$  векторного аргументу  $\mathbf{u} = \{u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_K\}$  такого вигляду:

$$h(\mathbf{u}) = \exp \left( \begin{array}{l} \sum_{\ell=1}^K (i \cdot u_\ell \cdot p_\ell \cdot \lambda \cdot N \cdot t) + \\ + \sum_{\ell=1}^K (i \cdot u_\ell)^2 / 2 - \\ - \sum_{\ell=1}^K \sum_{v=1}^K (u_\ell \cdot p_\ell \cdot u_v \cdot p_v \cdot \lambda \cdot N \cdot t \cdot \kappa / 2) \end{array} \right), \quad (4)$$

тут  $i = \sqrt{-1}$  – уявна одиниця.

Таким чином, кожна  $k$ -та компонента розділеного потоку є ВІГ-поток з параметрами  $p_k \cdot \lambda$  і  $p_k^2 \cdot \kappa$ , але потоки є стохастично залежними. Елементи коваріаційної матриці для них мають вигляд

$$C_{\ell v} = p_\ell \cdot p_v \cdot \lambda \cdot N \cdot t \cdot \kappa \quad (5)$$

для  $\ell$ -го і  $v$ -го з розділених потоків.

## 2. Особливості функціонування багатofазних систем

Розглянемо найпростішу систему масового обслуговування (СМО) без черги з підготовкою каналів. Нехай на  $n$ -каналну СМО надходить найпрос-

тіший потік запитів з інтенсивністю  $\lambda$ , а час обслуговування заявок розподілено за показовим законом з параметром  $\mu$ . До початку обслуговування канал повинен бути підготовлений. Час підготовки  $t_{\text{подг}}$  має показовий розподіл з параметром  $\phi$  і не залежить від того, як давно канал припинив роботу. При надходженні запиту спочатку виконується операція підготовки, а потім він надходить на обслуговування. Запит, який застав всі канали зайнятими, на обслуговування не приймається.

В даному випадку обслуговування запиту складається з двох фаз: підготовки з часом підготовки  $t_{\text{подг}}$  і самого обслуговування протягом часу  $t_{\text{обсл}}$ . В результаті загальний середній час обслуговування складає

$$\tilde{t}_{\text{обсл}} = \bar{t}_{\text{подг}} + \bar{t}_{\text{обсл}}. \quad (6)$$

Випадкова величина  $\bar{t}_{\text{обсл}}$  зазвичай розподілена за узагальненим законом Ерланга другого порядку [9] з параметрами  $\mu$  і  $\phi$ .

Відомо, що формули Ерланга є вірними не тільки для показового, а й для будь-якого іншого розподілу часу обслуговування. Для вирішення розрахунків при розподілі ресурсів нам необхідно знайти величину  $\tilde{m}$ :

$$t_{\text{обсл}} = 1/\mu + 1/\phi = (m + \phi) / (m \cdot \phi), \quad (7)$$

$$\text{отже,} \quad \tilde{m} = m \cdot \phi / (m + \phi). \quad (8)$$

Визначивши  $\tilde{c} = \lambda / \tilde{m}$  і підставивши його у формули Ерланга, отримаємо:

$$p_0 = \left( 1 + \frac{\tilde{c}}{1!} + \dots + \frac{\tilde{c}^k}{k!} + \dots + \frac{\tilde{c}^n}{n!} \right)^{-1}; \quad (9)$$

$$p_k = \frac{\tilde{c}^k}{k!} p_0, \quad (1 \leq k < n); \quad (10)$$

$$p_{\text{отк}} = \tilde{p}_n = \left( \tilde{c}^n / n! \right) \cdot p_0. \quad (11)$$

Показники ефективності СМО визначаються за відомими формулами

$$Q = 1 - \frac{\tilde{c}^n}{n!} p_0; \quad A = \lambda Q = \lambda \left( 1 - \left( \tilde{c}^n / n! \right) \cdot p_0 \right). \quad (12)$$

Для визначення середньої кількості зайнятих каналів потрібно поділити  $A$  на  $\tilde{m}$ , тоді

$$k = (\lambda / \tilde{m}) \cdot \left( 1 - \left( \tilde{c}^n / n! \right) \cdot p_0 \right) = \tilde{c} \left( 1 - \left( \tilde{c}^n / n! \right) \cdot p_0 \right). \quad (13)$$

Багатофазна система масового обслуговування (multistage queueing system, MQS) – система, в якій вимога, що надійшла, проходить послідовно кілька етапів обробки. Головна відмінність MQS від однофазних систем – неоднорідність каналів обслуговування. Для аналізу систем MQS необхідно знати не тільки довжину черги, час очікування обслуговування, навантаження кожного послідовного ланки системи, а й характеристики виходить потоку на кожному етапі обслуговування. У більшості випад-

ків MQS може бути представлена лінійним замкнутим стохастичним ланцюгом, що дозволяє сформулювати завдання її оптимізації в термінах теорії масового обслуговування таким чином.

Нехай система містить  $N$  фаз, причому кожна  $j$ -та фаза складається з  $n_j$  каналів масового обслуговування.

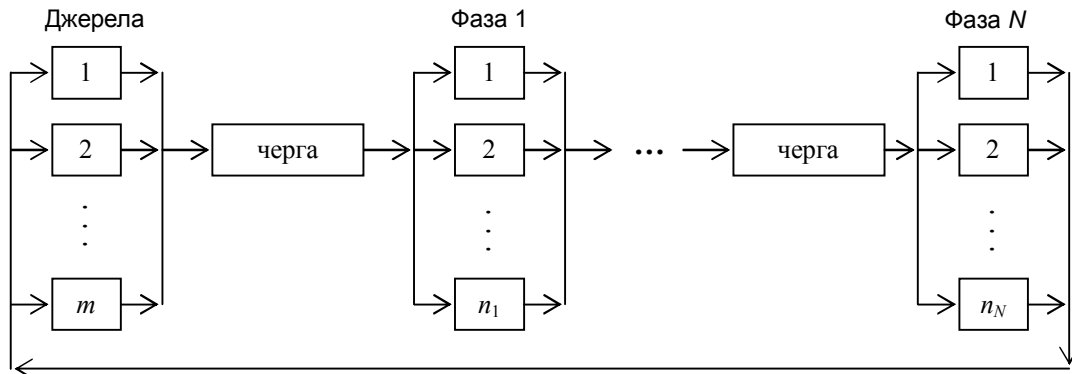


Рис. 1. Схема функціонування багатофазної СОВД

### 3. Оптимізація розподілу ресурсів

Для експлуатації СОВД передбачається виділити обчислювальний ресурс в обсязі  $W$  умовних одиниць, обслуговування одного каналу  $j$ -ої фази дорівнює  $\omega_j$ . Визначимо кількість каналів кожної фази, при якому середній час перебування запиту в системі ( $t_{cep}$ ) буде мінімальним.

Розглянемо роботу системи в стаціонарному режимі, причому всі запити повинні бути обслуговані, а ймовірність надходження заявки із  $i$ -ої фази до  $(i + 1)$ -ої, дорівнює  $P_{i,i+1}$ . Якщо  $t_j^{(cep)}$  – середня тривалість перебування заявки в  $j$ -й фазі, то

$$t_{cep} = \sum_{j=1}^N P_{j-1,j} \cdot t_j^{(cep)}. \quad (14)$$

Для виконання вимоги обов'язкового обслуговування всіх запитів, що надходять до СОВД, необхідно дотримуватися умови ненасиченості, тобто сумарна інтенсивність обслуговування всіх каналів  $j$ -ої фази, повинна бути більше, ніж інтенсивність вхідного потоку заявок цієї фази. Виходячи з цього кількість каналів  $n_j$  має бути не менше фіксованого мінімуму, тобто

$$n_j \geq n_j^{(\phi)}. \quad (15)$$

При виконанні цієї умови для розподілу залишається такий обсяг обчислювального ресурсу:

$$W^{(ocm)} = W - \sum_{j=1}^N \omega_j \cdot n_j^{(\phi)}. \quad (16)$$

Для вирішення завдання методом динамічного програмування необхідно провести поетапну оптимізацію розглянутої СМО, причому етапом оптимізації в даному випадку буде оптимізація фаз системи, починаючи з останньої. Введемо такі позначення:

$x_j$  – обсяг ресурсу, виділеного для обслуговування  $j$ -ої фази (понад обов'язково виділеної суми),

визначення. Фази системи з'єднані послідовно, а канали в фазах – паралельно (рис. 1). Відома інтенсивність  $\mu_j$  обслуговування запиту одним каналом в  $j$ -й фазі. Система обслуговує роботу  $m$  джерел вхідних даних, причому з  $k$ -го джерела інформаційні запити щодо аналізу даних надходять з інтенсивністю  $\lambda_k$ .

причому в  $\ell$ -му варіанті побудови ( $\ell = \overline{1, L}$ ) системи змінна  $x_j$  приймає фіксоване значення  $x_j^{(\ell)}$ ;

$y_j^{(\ell)}$  – частина ресурсу із  $x_j^{(\ell)}$ , що виділяється безпосередньо на обслуговування фази  $j$ ;

$f_{j,N}(x_j^{(\ell)})$  – мінімальна середня тривалість

перебування заявки у фазах від  $j$ -ої до  $N$ -ої включно при оптимальному розподілі ресурсів між цими фазами в варіанті з номером  $\ell$ .

При оптимізації кожної  $j$ -ої фази будемо розглядати гіпотези про обсяг обчислювального ресурсу  $x_j^{(\ell)}$ , який виділено на обслуговування ланцюга фаз від  $j$ -ої до  $N$ -ої, причому будь-яке припущення повинно відповідати умові

$$0 \leq y_j \leq x_j^{(\ell)} \quad (17)$$

і для кожного значення  $\ell$  має вирішуватися функціональне рівняння

$$f_{j,N}(x_j^{(\ell)}) = \min_{0 \leq y_j \leq x_j^{(\ell)}} \left( P_{j-1,j} \cdot t_j^{(cep)} + f_{j+1,N}(x_j^{(\ell)} - y_j) \right), \quad (18)$$

тобто мінімальне середнє час проходження запиту в мережі фаз (від  $j$  до  $N$ ) дорівнює мінімуму з суми часу перебування заявки в  $j$ -й фазі (з урахуванням виділення на її обслуговування обчислювального ресурсу в обсязі  $y_j$ ) і умовно мінімального часу перебування запиту в фазах від  $(j + 1)$ -ої до  $N$ -ої.

Для кожного етапу оптимізації функціональне рівняння (18) вирішується  $L$  разів, формуючи вектор з  $L$  умовних мінімальних середніх часів і вектор найбільш вигідних значень  $y_j$  при заданих  $x_j^{(\ell)}$ .

На першому кроці процесу оптимізації є вірним  $0 \leq y_N \leq W^{(ocm)}$ , кількість каналів  $N$ -ї фази дорівнює  $n_N = n_N^{(\phi)} + [y_N / \omega_N]$ , а функціональне рівняння (18) приймає вигляд:



$$f_{N,N}(x_N^{(\ell)}) = P_{N-1,N} \cdot t_N^{(cep)}(x_N^{(\ell)}). \quad (19)$$

На другому кроці оптимізації функціональне рівняння (18) з урахуванням (21) є таким:

$$f_{N-1,N}(x_{N-1}^{(\ell)}) = \min_{0 \leq y_{N-1} \leq x_{N-1}^{(\ell)}} \left( P_{N-2,N-1} \cdot t_{N-1}^{(cep)}(x_{N-1}^{(\ell)}) + f_{N,N}(x_{N-1}^{(\ell)} - y_{N-1}) \right). \quad (20)$$

Далі, на кожному  $k$ -му кроці значення умовно мінімальної середньої тривалості перебування запиту в фазах від  $k$  до  $N - f_{N-k+1,N}(x_{N-k+1}^{(\ell)})$ , знаходиться, виходячи з результатів рішення функціонального рівняння для значення  $f_{N-k+2,N}(x_{N-k+2}^{(\ell)})$ .

Описаний ітераційний процес дозволяє на  $N$ -му кроці оптимізації знайти безумовно оптимальний обсяг обчислювального ресурсу  $y_1^{(0)}$  для побудови цієї фази з функціонального рівняння:

$$f_{1,N}(W^{(ocm)}) = \min_{0 \leq y_1 \leq L} \left( P_{0,1} \cdot t_1^{(cep)}(y_1) + f_{2,N}(L - y_1) \right), \quad (21)$$

причому величина  $f_{1,N}(W^{(ocm)})$  є середнім часом перебування запиту в системі, тобто  $t_{cep}$ .

Розгортаючи процес в зворотному напрямку від першої до останньої фази можна розрахувати безумовно оптимальні розміри обчислювального ресурсу, що виділяються на обслуговування кожної фази, використовуючи такий ітераційний процес:

$$f_{j,N}(W^{(ocm)} - \sum_{i=1}^{j-1} y_i^{(0)}) =$$

$$= \min_{0 \leq y_j \leq W - \sum_{i=1}^{j-1} y_i^{(0)}} \left( P_{i-1,i} \cdot t_j^{(cep)}(y_j) + f_{(j+1),N} \left( L - \sum_{i=1}^{j-1} y_i^{(0)} - x_j \right) \right). \quad (22)$$

При цьому необхідна кількість каналів в кожній фазі розраховується як

$$n_j = n_j^{(\phi)} + \left[ y_j^{(0)} / \omega_j \right]. \quad (23)$$

## Висновки

У статті запропонований метод оптимального розподілу ресурсів багатофазної системи обробки великих даних при високоінтенсивному вхідному потоці, котрий враховує як можливість проведення аналізу даних у режимі реального часу, так і особливостей високоінтенсивного потоку вхідних даних із багатьох джерел.

Визначено особливості високоінтенсивних потоків вхідних даних та показана можливість апроксимації його з достатньою точністю гауссівським розподілом. Також визначені особливості функціонування багатофазних систем та запропонована схема функціонування багатофазної системи обробки великих даних.

Базуючись на отриманих результатах розроблена математична модель процесу оптимізації розподілу ресурсів багатофазної системи обробки великих даних при високоінтенсивному вхідному потоці. Для цього використано метод динамічного програмування. В результаті отримана мінімальна кількість каналів в кожній фазі, при якій середній час аналізу даних в системі буде мінімальним.

**Напрямок подальших досліджень** – розробка методу оптимального розподілу ресурсів, що враховує вартісні витрати при обслуговуванні багатофазної системи обробки великих даних.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кучук Г.А. Метод оценки характеристик АТМ-трафика / Г.А. Кучук // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті, – 2003. – № 6. – С. 44–48.
2. Кучук Г. А., Можаяев О. О., Воробйов О. В. Метод агрегування фрактального трафіка. Радіоелектронні та комп'ютерні системи. 2006. № 6 (18). С. 181–188.
3. Saravana, Balaji B., Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), "Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446.
4. Saravana, Balaji B., Mohamed, Uvaze Ahamed, Eswaran C. and Kannan R., (2019), "Prediction-based Lossless Image Compression", *Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics (Springer)*, Vol. 30, No 1, pp.1749 – 17961, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00665-5\\_161](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00665-5_161)
5. Кучук Г. А. Фрактальный гауссовский шум в трафиковых трассах / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – 2004. – № 3(31). – С. 91-100.
6. Кучук Г.А. Анализ та моделі самоподібного трафіка / Г.А. Кучук, О.О. Можаяев, Воробйов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – Вып. 9 (35). – С. 173-180.
7. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of TCP Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node, *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
8. Gomathi, B, Karthikeyan, N.K. and Saravana, Balaji B., (2018), "Epsilon-Fuzzy Dominance Sort Based Composite Discrete Artificial Bee Colony optimization for Multi-Objective Cloud Task Scheduling Problem", *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*, Vol. 13, Issue 1-3, pp. 247-266, DOI: <https://doi.org/10.1504/IJBIDM.2018.088435>
9. Dhivakar B., Saravanan S.V., Sivaram M., Krishnan R.A. Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique". *Computer Science and Engineering*. 2012. Vol. 2, Issue 5. pp.43-45.
10. Sivaram, M., Batri, K., Amin Salih, Mohammed and Porkodi V. (2019), "Exploiting the Local Optima in Genetic Algorithm using Tabu Search", *Indian Journal of Science and Technology*, Volume 12, Issue 1.
11. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies*. 2015. P. 266-271.



12. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81.
13. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113. DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>
14. Кучук Г. А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, А.А. Янковский // Системи обробки інформації. – 2014. – № 7(123). – С. 93-96.
15. 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.
16. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. ЛуковаЧуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.
17. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), "The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
18. Sivaram, M., Porkodi, V., Mohammed, A.S., Manikandan V. Detection of Accurate Facial Detection Using Hybrid Deep Convolutional Recurrent Neural Network. *ICTACT Journal on Soft Computing*. 2019. Vol. 09, Issue 02. pp. 1844-1850.
19. Mohammed, A. S. Optimal Forecast Model for Erbil Traffic Road Data. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2017. [Vol. 29, No 5. P. 137-145. DOI: https://doi.org/10.21271/ZJPAS.29.5.15](https://doi.org/10.21271/ZJPAS.29.5.15)
20. Amin Salih M., Yuvaraj D., Sivaram M., Porkodi V. Detection And Removal Of Black Hole Attack In Mobile Ad Hoc Networks Using Grp Protocol. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*. Vol. 9, No 6. P. 1-6.
21. 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>
22. 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>
23. Moiseev A. Investigation of High Intensive General Flow / A. Moiseev, A. Nazarov // Proc. of the IV International Conference «Problems of Cybernetics and Informatics» (PCI'2012), September 12-14, 2012. Baku, Azerbaijan. – Baku: ANAS, 2012. – P. 161-163.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І. В. Рубан,  
Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків  
Received (Надійшла) 09.04.2019  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.05.2019

#### Распределение ресурсов многофазной системы обработки больших данных при высокоинтенсивном входном потоке

А. А. Коваленко, Г. А. Кучук, А. С. Ляшенко

Задача оптимального проектирования многофазной системы обработки больших данных (МФСОБД) при высокоинтенсивном входном потоке требует применения современных математических и компьютерных методов и средств. **Предметом исследования** является ресурсы многофазной системы обработки больших данных. **Цель исследования** - разработка метода оптимального распределения ресурсов МФСОБД при высокоинтенсивном входном потоке, который учитывает как возможность проведения анализа данных в режиме реального времени, так и особенностей высокоинтенсивного потока входных данных из многих источников. **Результаты.** Определены особенности высокоинтенсивных потоков входных данных и показана возможность аппроксимации его с достаточной точностью гауссовским распределением. Также определены особенности функционирования многофазных систем и предложена схема функционирования многофазной системы обработки больших данных. Основываясь на полученных результатах, разработана математическая модель процесса оптимизации распределения ресурсов многофазной системы обработки больших данных при высокоинтенсивном входном потоке. Для этого использован метод динамического программирования. **Вывод.** В результате получено минимальное количество каналов в каждой фазе МФСОБД, при которой среднее время анализа данных в системе будет минимальным.

**Ключевые слова:** большие данные, многофазная система массового обслуживания, вычислительный ресурс, высокоинтенсивный поток.

#### Distribution of resources of the largest phase system of processing big data for a high-intensive input power

A. Kovalenko, H. Kuchuk, O. Lyashenko

The tasks of optimal design of a multi-phase system for processing big data at high-intensity input flow require the use of modern mathematical and computer methods and tools. **The subject of the study** is the resources of a multi-phase system for processing large data. **The purpose of the research** is to develop a method for optimal allocation of resources of multi-phase system for processing big data at a high-intensity input stream, which takes into account both the possibility of real-time data analysis and the high-intensity flow of input data from many sources. **Results.** The features of high-intensity streams of input data are determined and the possibility of approximating it with a sufficient accuracy by the Gaussian distribution is shown. The peculiarities of the operation of multiphase systems are also determined, and the scheme of operation of the multiphase system of processing large data is proposed. Based on the obtained results a mathematical model of the process of optimization of the resource allocation of a multi-phase system for processing large data at a high-intensity input flow is developed. This is done using the dynamic programming method. **Conclusion.** As a result, we obtain the minimum number of channels in each phase of the multi-phase system for processing big data, in which the average time of data analysis in the system will be minimal.

**Keywords:** large data, multiphase mass service system, computing resource, high intensity flow.

Н. Г. Кучук<sup>1</sup>, Н. В. Лукова-Чуйко<sup>2</sup>, В. В. Собчук<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

<sup>2</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

<sup>3</sup> Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОПУСКНИХ ЗДАТНОСТЕЙ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ ГІПЕРКОНВЕРГЕНТНОЇ СИСТЕМИ

Завдання оптимізації пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвергентної системи потребує застосування сучасних математичних і комп'ютерних методів та засобів. **Предметом дослідження** є ресурси для передачі даних у гіперконвергентній системі. **Мета дослідження** – отримання аналітичного рішення задачі оптимізації пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвергентної системи при обмежених вузлових ресурсах. **Результати та висновки.** Для вирішення завдання оптимізації пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвергентної системи в якості функціоналу оптимізації був обраний середній час затримки при обмеженнях на вартість оренди каналів зв'язку. Оптимізаційна задача сформульована таким чином: визначити оптимальні значення щільності інформаційного потоку, що мінімізують середню затримку при обмеженні на вартість передачі сумарної кількості інформації, що припадає на одиницю пропускної здатності лінії зв'язку. Для її вирішення застосований метод невизначених множників Лагранжа. В результаті отримані аналітичні вирази, які дозволяють при заданій вартості передачі одиниці інформації здійснити вибір кількості елементів буферної пам'яті і оптимального значення щільності потоку інформації, що забезпечує мінімальну середню затримку передачі транзакцій гіперконвергентної комп'ютерної системи.

**Ключові слова:** канал зв'язку, гіперконвергентна система, пропускна здатність, інформаційний потік.

### Вступ

**Аналіз проблеми та наукових публікацій.** На сьогодні на ринку ІТ-технологій розподілені хмарні платформи поступово витісняються конвергентними і гіперконвергентними [1, 2]. Інфраструктура, що створена на конвергентній платформі, передбачає об'єднання пам'яті, обчислювальних і мережних ресурсів в пул, заздалегідь сконфігурованих для роботи в дата-центрі [3], при гіперконвергентній інфраструктурі обчислювальні потужності, сховища, сервери, мережі об'єднуються в одне ціле за допомогою програмних засобів, а управління ними відбувається через загальну консоль адміністрування [4, 5]. При гіперконвергентній структурі для управління системою часом досить одного системного адміністратора. Це істотно знижує витрати на обслуговування системи. Але виникає питання щодо необхідної кількості та визначенню пропускної здатності каналів зв'язку з дата-центром та центром керування [6].

Численні публікації [7–28], присвячені оптимізації пропускних здатностей мереж передачі даних, базуються на моделі мережі у вигляді системи масового обслуговування типу  $M/M/1$  із необмеженими чергами. Таке припущення припускає можливість отримання аналітичного рішення, що суттєво спрощує інтерпретацію результатів, але доволі часто не відповідає реальним умовам функціонування мережі. Особливо це помітно при аналізі гіперконвергентних систем [2]. Основною причиною перевантажень мережі є обмеженість каналного ресурсу, пов'язаного з вартістю оренди каналів, і кінцевої кількості буферів у вузлах комутації. Аналіз показує, що класична постановка задачі дає завищені значення середнього часу затримки, а обмеження вузлових ресурсів при інших рівних умовах дозволяє транспортувати по мережі більш значні потоки

інформації [9]. Однак спроба вирішити це завдання для обмеженої кількості місць у черзі, не дає точного аналітичного рішення через складність функціонала оптимізації [10].

**Постановка завдання.** Метою статті є отримання аналітичного рішення задачі оптимізації пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвергентної системи при обмежених вузлових ресурсах.

### 1. Результати теоретичних досліджень

В якості функціоналу оптимізації будемо використовувати середній час затримки  $T_{сер}$  при обмеженні на вартість оренди каналів зв'язку

$$C \leq C_{max}. \quad (1)$$

Для розрахунку середнього часу затримки  $T_{сер}$  використаємо формулу Літтла [11]

$$\gamma T_{сер} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot T_i, \quad (2)$$

де  $\gamma$  – загальний трафік в мережі;  $\lambda_i$  – інтенсивність потоку пакетів на вході в кожен канал;  $T_i$  – середній час затримки пакета в кожній окремій лінії.

Доведено [12], що черги пакетів на вході в кожний канал зв'язку можна апроксимувати системами масового обслуговування типу  $M/M/1$ , тобто на вхід  $i$ -ої черги надходить пуассонівський потік пакетів з інтенсивністю  $\lambda_i$  пакетів в секунду і середнім часом обслуговування  $\mu_i^{-1}$  с, який розподілений за експоненціальним законом.

Середній час затримки  $T_i$ , котрий дорівнює часу перебування заявки в системі масового обслуговування (СМО), виражається такою формулою [13]:

$$T_i = \bar{r}_i / \lambda_i + g_i / \mu_i, \quad (3)$$

де 
$$g_i = \frac{1 - \rho_i^{m_i+1}}{1 - \rho_i^{m_i+2}} - \quad (4)$$

середня частка заявок, що надійшли, яку обслуговує система (відносна пропускна здатність);

$$\frac{-}{r_i} = \frac{\rho_i^2 [1 - \rho_i^{m_i} (m_i + 1 - m_i \cdot \rho_i)]}{(1 - \rho_i^{m_i+2})(1 - \rho_i)} - \quad (5)$$

середня кількість заявок в черзі;  $m_i$  – кількість місць в черзі;

$$\rho_i = \lambda_i / \mu_i -$$

коефіцієнт використання системи.

С урахуванням (4) і (5) вираз (3) після перетворення приймає вигляд:

$$T_i = \frac{1}{\mu_i} \frac{1 - \rho_i^{m_i+1} [(m_i + 2) - \rho_i (m_i + 1)]}{(1 - \rho_i^{m_i+1})(1 - \rho_i)} \quad (6)$$

Однак вираз (6) не зручний для використання в задачі оптимізації через громіздкість. Використовуючи формулу для кінцевої суми геометричної прогресії

$$\sum_{k=0}^{m_i+1} \rho^k = \frac{1 - \rho^{m_i+2}}{1 - \rho} = S_{m_i},$$

його легко надати в більш зручній формі:

$$T_i = \frac{1}{\mu_i} \frac{\sum_{k=0}^{m_i} (1+k) \rho_i^k}{\sum_{k=0}^{m_i+1} \rho_i^k} = \frac{1}{\mu_i} \frac{\left( \sum_{k=0}^{m_i+1} \rho_i^k \right)'}{\sum_{k=0}^{m_i+1} \rho_i^k} = \frac{1}{\mu_i} \frac{S'_{m_i}}{S_{m_i}}, \quad (7)$$

де штрих – це похідна  $\frac{\partial}{\partial \rho}$ .

Тому середній час затримки у всій мережі знаходиться з (1) з урахуванням (6):

$$T_{cp} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^n \rho_i \frac{\left( \sum_{k=0}^{m_i+1} \rho_i^k \right)'}{\sum_{k=0}^{m_i+1} \rho_i^k} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^n \rho_i \frac{S'_{m_i}}{S_{m_i}} \quad (8)$$

Залежність (7) при  $m_i \rightarrow \infty$  переходить у відому формулу

$$T_{cp} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i}{1 - \rho_i}$$

з необмеженою чергою [14], а при  $m_i = 0$  :

$$T_{cp} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i}{1 + \rho_i},$$

що відповідає моделі мережі у вигляді СМО з відомими [22].

Дослідження показали, що функція (8) є опуклою функцією, але не містить екстремумів, в зв'язку з чим мінімум середнього часу затримки не може бути знайдений шляхом обчислення часткових похідних  $\frac{\partial T_{cp}}{\partial \rho_i} = 0$ . У зв'язку з цим дана задача є задачею умовної оптимізації. Аналітичне рішення поставленого завдання можливо при відповідному виборі в якості обмежує умови функції вартості. Розрахунки [15] показують, що зазвичай немає великої різниці між випадками використання вартісних функцій того чи іншого вигляду, тобто слід вибирати ту вартісну функцію, яка найбільш повно відповідає умовам конкретного завдання [15].

Розглянемо вартісну функцію вигляду [16]:

$$C = k \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{V_i}, \quad (9)$$

де при пакетній передачі повідомлень

$$F_i = L\lambda_i, \quad V_i = L\mu_i;$$

$L$  – фіксована довжина пакета у бітах.

З урахуванням цього функція вартості (9) набуває вигляду

$$C = k \sum_{i=1}^n \rho_i \quad (10)$$

і виражається в одиницях вартості передачі одиниці кількості інформації (тобто щільності інформаційного потоку, що в загальному відповідає прийнятим принципам оплати за використання засобів зв'язку),  $\rho_i$  – коефіцієнт використання каналу або завантаження мережі.

Таким чином, оптимізаційна задача може бути сформульована в такому вигляді:

*визначити оптимальні значення щільності інформаційного потоку, що мінімізують середню затримку*

$$T_{cp} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^n \rho_i \frac{S'_{m_i}}{S_{m_i}} \rightarrow \min \quad (11)$$

*при обмеженні на вартість передачі сумарної кількості інформації, що припадає на одиницю пропускної здатності лінії зв'язку*

$$C = k \sum_{i=1}^n \rho_i \leq C_{зад} \quad (12)$$

Для вирішення даного завдання застосований метод невизначених множників Лагранжа. Складемо функціонал оптимізації:

$$\Phi = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^n \rho_i \frac{S'_{m_i}}{S_{m_i}} + Pk \sum_{i=1}^n \rho_i, \quad (13)$$

де  $P$  – невизначений множник Лагранжа.

Обчислюючи часткові похідні  $\frac{\partial \Phi}{\partial \rho_i} = 0$ , отримуємо систему  $n$  рівнянь вигляду

$$\left( \rho_i \frac{S'_m}{S_m} \right)' + \gamma P k = 0, \quad i = \overline{1, n}. \quad (14)$$

Аналіз виразу (14) показує, що кожне рівняння, цієї системи залежить від змінної  $\rho_i$  і параметрів  $m_i, \gamma, P, k$ . Якщо покласти  $m_i = m$  однаковим для всіх вузлів, то ці характеристики не залежать від індексу  $i$ , тобто в результаті його рішення відносно  $\rho_i$  отримуємо

$$\rho_i = F(m, \gamma, P, k).$$

Це дозволяє зробити висновок, що

$$\rho_i^{onm} = \rho = const,$$

тобто оптимальні значення щільності інформаційного потоку однакові для всіх гілок і не залежать від номера гілки зв'язку.

Після диференціювання і деяких перетворень отримаємо для кожної гілки (опускаючи індекс  $i$ ) таке диференціальне рівняння:

$$\frac{S'_m}{S_m} + \rho \frac{S''_m}{S_m} - \rho \frac{(S'_m)^2}{S_m^2} + \gamma P k = 0. \quad (15)$$

Шляхом заміни змінної

$$\frac{S'_m}{S_m} = Z \quad \text{і} \quad S''_m = Z' S_m + Z S'_m \quad (16)$$

рівняння (15) перетворюється в неоднорідне лінійне рівняння першого порядку:

$$Z' + \frac{1}{\rho} Z = -\frac{1}{\rho} \gamma P k. \quad (17)$$

Загальне рішення рівняння (17) знаходиться методом варіації вільної постійної [22]. Відповідне однорідне рівняння

$$Z' + \frac{1}{\rho} Z = 0, \quad (18)$$

із роздільними змінними має спільне рішення в такому вигляді:

$$Z = \frac{C_1}{\rho}. \quad (19)$$

Покладемо  $C_1 = C_1(\rho)$ , тоді

$$Z = \frac{C_1(\rho)}{\rho}. \quad (20)$$

Виберемо функцію  $C_1(\rho)$  так, щоб вираз (20) задовольняло рівнянням (16). Підставляючи (20) в (17) після перетворень, отримуємо

$$C'_1(\rho) = -\gamma P k. \quad (21)$$

Інтегруючи (21), маємо

$$C_1(\rho) = -\gamma P k \rho + C_2$$

і, отже,

$$Z = -\gamma P k + \frac{C_2}{\rho}. \quad (21)$$

Повертаючись до попередньої змінної із (17), отримаємо:

$$S'_m/S_m = -\gamma P k + (C_2/\rho). \quad (22)$$

Розділивши у виразі (23) змінні, прийдемо до такого рівняння

$$\frac{dS_m}{S_m} = -\gamma P k d\rho + C_2 \frac{d\rho}{\rho},$$

інтегруючи яке, остаточно отримуємо

$$S_m = C_3 \rho^{C_2} \cdot e^{-\gamma P k \rho}, \quad (24)$$

де  $C_2$  та  $C_3$  – постійна інтегрування.

За рівняння (24) знаходимо довільні постійні інтегрування  $C_2$  та  $C_3$  шляхом розв'язання задачі Коші при заданих початкових умовах.

У подальших розрахунках обмежимося залежністю (23), із якої визначимо значення  $\rho$  для кожної гілки розглянутої мережі:

$$\rho = \frac{C_2}{\gamma P k + (S'_m/S_m)}. \quad (25)$$

Визначимо значення  $C_2$  з початкової умови  $\rho_0 = 1$ . Згідно рівняння (8)

$$\begin{aligned} \left( \frac{S'_m}{S_m} \right)_{\rho=1} &= \frac{1+2+\dots+(m+1)}{\underbrace{1+1+\dots+1}_{m+2}} = \\ &= \frac{(m+1)(m+2)}{2(m+2)} = \frac{m+1}{2}. \end{aligned} \quad (26)$$

У виразі (26) враховано, що чисельник

$$1+2+\dots+(m+1) = \frac{(m+1)(m+2)}{2} \quad (27)$$

є сумою арифметичної прогресії.

З рівняння (25) за умови (26) визначаємо довільну постійну  $C_2$ :

$$C_2 = \gamma P k + \frac{m+1}{2}. \quad (28)$$

Остаточно отримуємо:

$$\rho = \left( \gamma P k + \frac{m+1}{2} \right) / \left( \gamma P k + (S'_m/S_m) \right). \quad (29)$$

Для визначення невизначеного множника Лагранжа скористаємося умовою (12) для граничного значення вартості:

$$\begin{aligned} k \sum_{i=1}^n \frac{\gamma P k + (m+1)/2}{\gamma P k + (S'_m/S_m)} &= \\ = kn \frac{\gamma P k + (m+1)/2}{\gamma P k + (S'_m/S_m)} &= C_{зад}. \end{aligned} \quad (30)$$

Із отриманого виразу (30) отримуємо значення множника Лагранжу:

$$P = \frac{(m+1)/2 - (S'_m/S_m) \cdot (C_{зад}/kn)}{\gamma k ((C_{зад}/kn) - 1)}. \quad (31)$$

Підставляючи (31) в (29), отримуємо умови екстремумів  $T_{сер}$  виразу (8):

$$\left( \rho_{onm} - \frac{C_{зад}}{kn} \right) \left( (m+1)/2 - S'_m/S_m \right) = 0. \quad (32)$$

Умови (32) виконуються, якщо будь-який співмножник дорівнює нулю, тобто

$$\rho_{onm} - C_{зад}/kn = 0; \quad (33)$$

$$S'_m/S_m - (m+1)/2 = 0. \quad (34)$$

Умова (33) визначає оптимальне значення питомої потоку у гілках:

$$\rho_{onm} = C_{зад}/kn, \quad (35)$$

що забезпечує мінімальне значення середнього часу затримки:

$$T_{сер}^{min} = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{C_{зад}}{k} \cdot \left( \frac{S'_m}{S_m} \right)_{onm}, \quad 0 < \rho_{onm} < 1. \quad (36)$$

Умова (34) відповідає максимальному значенню затримки в мережі при

$$\rho = 1, \quad T_{сер}^{max} = \frac{n}{\gamma} \cdot \frac{m+1}{2}, \quad (37)$$

яке досягається незалежно від вартості мережі.

## 2. Результати експериментальних досліджень

Аналіз отриманих результатів показує, що вартість мережі визначається в основному витратами на передачу даних, тому необхідно ресурси мережі використовувати максимально ефективно.

Згідно із виразом (34) можна зробити висновок, що мережа зв'язку повинна бути однорідною в сенсі постійності значень щільності потоку інформації, що передається в усіх лініях зв'язку. Виходячи із цього, можна стверджувати, що в такому випадку

$$\rho_{onm} = C_{зад}/kn < 1 \quad (38)$$

не залежить від номера гілки зв'язку.

Якщо потоки в гілках при синтезі мережі задані у вигляді матриці тяжінь  $\|\lambda_i\|$ , то при фіксованій довжині пакета  $L$  пропускні здатності відповідних гілок прямо пропорційні значенням потоків цих гілок, тобто

$$V_i = (kn/C_{зад}) \cdot F_i, \quad (39)$$

що є необхідною умовою винятком блокувань мережі, тобто

$$V_i > F_i, \quad (40)$$

причому ступінь цього перевищення визначається відношенням кількості гілок мережі до їх вартості.

Припущення про те, що  $m$  не залежить від номера вузла або гілки є приблизно вірним, так як згідно з (39) збільшення потоку  $F_i$  призводить до необхідності пропорційного збільшення пропускної здатності, що веде до більш швидкого звільнення буферів, так що кількість вимог на вхід до кожного каналу залишається незмінною, тобто необхідна кількість буферів виявляється постійною.

Залежності мінімальних значень середньої затримки при всіляких значеннях кількості буферів у вузлах комутації від оптимальних значень питомого потоку представлені на рис. 1.

Припущення про нескінченну кількість буферів дозволяє отримати верхнє значення для затримки, яку можна досягти при кінцевому числі елементів буферної пам'яті, при цьому затримка в системі без буферів дає нижнє значення для затримки у системах множинного доступу з буферизацією та керуємим потоком.

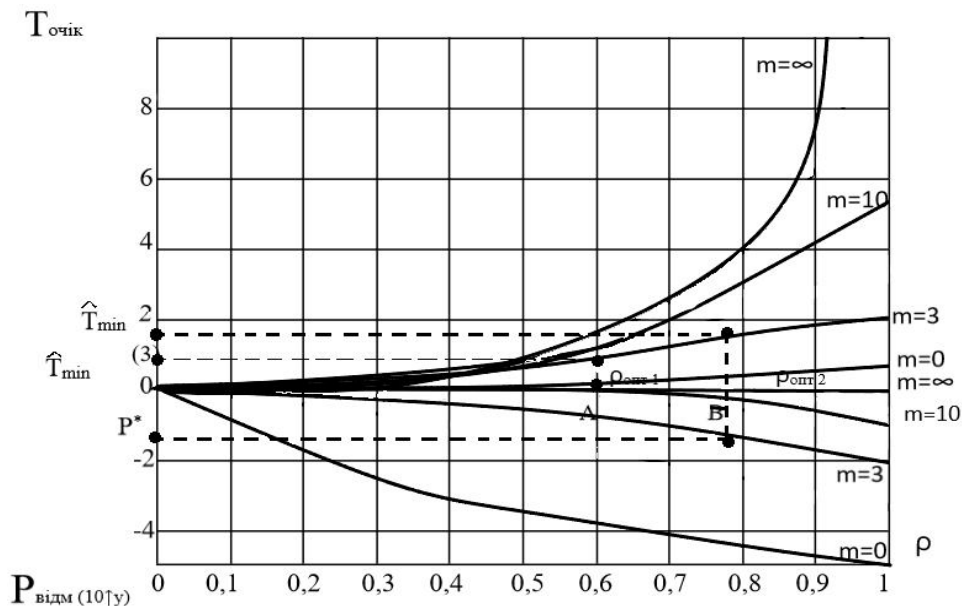


Рис. 1. Мінімальні значення середньої затримки

Однак обмеження на кількість буферів у вузлах комутації неминуче призводить до того, що частина пакетів відкидається вузлом.

Для врахування цієї обставини на рис. 1, наведені суміщені криві залежності ймовірності відмов у функції  $f(\rho)$  при однакових значеннях кількості буферів  $m$ , побудовані відповідно до виразу [21]

$$P_{отк}(\rho, m) = \frac{\rho^{m+1}}{\sum_{n=0}^{m+1} \rho^n}. \quad (41)$$

Аналіз кривих рис. 1 дозволяє зробити висновок про те, що значення мінімальної середньої затримки ( $T_{min} = 1,8$  с), яка відповідає значенням  $\rho_{opt} = 0,6$ ;  $m = \infty$  (точка А) може бути досягнуто при більш високій щільності інформаційного потоку ( $\rho_{opt} = 0,78$ ;  $m = 3$ ) при обмеженій кількості буферів в вузлах комутації (точка В). При цьому ймовірність відмови  $P^* = 0,12$ , що приблизно відповідає значенню  $\sim 10\%$  і є цілком прийнятним [22].

## Висновок

Для вирішення завдання оптимізації пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвергентної системи в якості функціоналу оптимізації був обраний середній час затримки при обмеженнях на вартість оренди каналів зв'язку. Оптимізаційна задача сформульована таким чином: визначити оптимальні значення щільності інформаційного потоку, що мінімізують середню затримку при обмеженні на вартість передачі сумарної кількості інформації, що припадає на одиницю пропускної здатності ліній зв'язку. Для її вирішення застосований метод невізначених множників Лагранжа.

В результаті отримані аналітичні вирази, які дозволяють при заданій вартості передачі одиниці інформації здійснити вибір кількості елементів буферної пам'яті і оптимального значення щільності потоку інформації, що забезпечує мінімальну середню затримку передачі транзакцій гіперконвергентної комп'ютерної системи.

**Напрямок подальших досліджень** – реалізація запропонованої математичної моделі у гіперконвергентному середовищі.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шматков С. І. Модель інформаційної структури гіперконвергентної системи підтримки електронних обчислювальних ресурсів університетської e-learning / С. І. Шматков, Н. Г. Кучук, В. В. Донець // Системи управління, навігації та зв'язку : науковий журнал. – Полтава : ПНТУ, 2018. – Вип. 2 (48). – С. 97-100.
2. Merlac V. Resources Distribution Method of University e-learning on the Hyperconvergent platform / V. Merlac, S. Smatkov, N. Kuchuk, A. Nechausov // Conf. Proc. of 2018 IEEE 9<sup>th</sup> International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT'2018. Ukraine, Kyiv, May 24-27, 2018. – P. 136-140. – URL : <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409114>
3. 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>.
4. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10>.
5. Kuchuk N. Method for calculating of R-learning traffic peakedness / N. Kuchuk; O. Mozhaiev, M. Mozhaiev; H. Kuchuk // 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017. – 2017. – P. 359 – 362. URL : <http://dx.doi.org/10.1109/INFCOMMST.2017.8246416>.
6. Кучук Г.А. Метод оценки характеристик АТМ-трафика / Г.А. Кучук // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті, – 2003. – № 6. – С. 44–48.
7. Кучук Г. А., Можаяев О. О., Воробйов О. В. Метод агрегування фрактального трафіка. *Радіоелектронні та комп'ютерні системи*. 2006. № 6 (18). С. 181–188.
8. Saravana, Balaji B., Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), "Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446.
9. Saravana, Balaji B., Mohamed, Uvaze Ahamed, Eswaran C. and Kannan R., (2019), "Prediction-based Lossless Image Compression", *Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics* (Springer), Vol. 30, No 1, pp.1749 – 17961, DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-00665-5\\_161](https://doi.org/10.1007/978-3-030-00665-5_161)
10. Кучук Г. А. Фрактальный гауссовский шум в трафиковых трассах / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – 2004. – № 3(31). – С. 91-100.
11. Кучук Г.А. Аналіз та моделі самоподібного трафіка / Г.А. Кучук, О.О. О.В. Можаяев, Воробйов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – Вип. 9 (35). – С. 173-180.
12. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of TCP Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2015. Vol. 27, No 6, P. 59–68.
13. Gomathi, B, Karthikeyan, N.K. and Saravana, Balaji B., (2018), "Epsilon-Fuzzy Dominance Sort Based Composite Discrete Artificial Bee Colony optimization for Multi-Objective Cloud Task Scheduling Problem", *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*, Vol. 13, Issue 1-3, pp. 247-266, DOI: <https://doi.org/10.1504/IJBIDM.2018.088435>
14. Dhivakar B., Saravanan S.V., Sivaram M., Krishnan R.A. Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique". *Computer Science and Engineering*. 2012. Vol. 2, Issue 5. pp.43-45.
15. Sivaram, M., Batri, K., Amin Salih, Mohammed and Porkodi V. (2019), "Exploiting the Local Optima in Genetic Algorithm using Tabu Search", *Indian Journal of Science and Technology*, Volume 12, Issue 1.
16. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies*. 2015. P. 266-271.
17. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81.



18. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113. DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>
19. Кучук Г. А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, А.А. Янковский // Системи обробки інформації. – 2014. – № 7(123). – С. 93-96.
20. 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.
21. 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.
22. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), "The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
23. Sivaram, M., Porkodi, V., Mohammed, A.S., Manikandan V. Detection of Accurate Facial Detection Using Hybrid Deep Convolutional Recurrent Neural Network. *ICTACT Journal on Soft Computing*. 2019. Vol. 09, Issue 02. pp. 1844-1850.
24. Mohammed, A. S. Optimal Forecast Model for Erbil Traffic Road Data. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2017. Vol. 29, No 5. P. 137-145. DOI: <https://doi.org/10.21271/ZJPAS.29.5.15>
25. Amin Salih M., Yuvaraj D., Sivaram M., Porkodi V. Detection And Removal Of Black Hole Attack In Mobile Ad Hoc Networks Using Grp Protocol. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*. Vol. 9, No 6. P. 1-6.
26. 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>
27. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
28. Moiseev A. Investigation of High Intensive General Flow / A. Moiseev, A. Nazarov // Proc. of the IV International Conference «Problems of Cybernetics and Informatics» (PCI'2012), September 12–14, 2012. Baku, Azerbaijan. – Baku: ANAS, 2012. – P. 161–163.

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. А. А. Коваленко,  
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків  
Received (Надійшла) 16.04.2019  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

#### **Оптимизация пропускных способностей каналов связи гиперконвергентной системы**

Н. Г. Кучук, Н. В. Лукова-Чуйко, В. В. Собчук

Задача оптимизации пропускных способностей каналов связи гиперконвергентной системы требует применения современных математических и компьютерных методов и средств. **Предметом исследования** являются ресурсы для передачи данных в гиперконвергентной системе. **Цель исследования** – получение аналитического решения задачи оптимизации пропускных способностей каналов связи гиперконвергентной системы при ограниченных узловых ресурсах. **Результаты и выводы.** Для решения задачи оптимизации пропускных способностей каналов связи гиперконвергентной системы в качестве функционала оптимизации было выбрано среднее время задержки при ограничениях на стоимость аренды каналов связи. Оптимизационная задача сформулирована следующим образом: определить оптимальные значения плотности информационного потока, минимизирующие среднюю задержку при ограничении на стоимость передачи суммарного количества информации, приходящейся на единицу пропускной способности линий связи. Для ее решения применен метод неопределенных множителей Лагранжа. В результате получены аналитические выражения, позволяющие при заданной стоимости передачи единицы информации осуществить выбор количества элементов буферной памяти и оптимального значения плотности потока информации, обеспечивает минимальную среднюю задержку передачи транзакций гиперконвергентной компьютерной системы.

**Ключевые слова:** канал связи, гиперконвергентная система, пропускная способность, информационный поток.

#### **Optimization of communication channels bandwidths of the hyperconverting system**

N. Kuchuk, N. Lukova-Chuiko, V. Sobchuk

The task of optimizing the bandwidth of hyperconverting communication channels requires the use of modern mathematical and computer methods and tools. **The subject of the study** is the resources for data transmission in the hyperconverting system. **The purpose of the research** is to obtain an analytical solution to the task of optimizing the throughput capacities of hyperconverting system communication channels with limited nodal resources. **Results and conclusions.** In order to solve the problem of optimizing the bandwidth of hyperconverting communication channels as an optimization function, the average delay time was chosen with restrictions on the cost of leased communication channels. The optimization problem is formulated as follows: to determine the optimal values of the density of the information flow, minimizing the average delay in limiting the transmission cost of the total amount of information per unit of bandwidth of the communication lines. To solve it, we use the method of indeterminate Lagrange multipliers. As a result, analytical expressions are obtained, which allow for a given value of transmitting a unit of information to make a choice of the number of buffer memory elements and the optimal value of the information flow density, which ensures a minimal average delay in the transfer of transactions of the hyperconverting computer system.

**Keywords:** communication channel, hyperconverting system, bandwidth, information flow.

Т. В. Нескородєва

Донецький національний університет імені Василя Стуса, Вінниця, Україна

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АВТОМАТИЗОВАНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ У ПІДСИСТЕМІ АУДИТУ ПЕРЕДУМОВИ ІНФОРМАЦІЙНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

**Мета статті.** Виконати постановку задач аудиту автоматизованого аналізу даних в підсистемі аудиту передумови Положень (стандартів) бухгалтерського обліку в ІТ СППР, які інваріантні щодо особливостей підприємства і будуть складовими методики формалізації інформації при проектуванні ІТ. Визначено особливості обліку даних аудиту передумови за період перевірки в підсистемі первинного обліку. Це дозволило визначити, що пряме відображення даних, підпорядковане передумові багатозначно, а зворотнє однозначно, а також, що перевірка передумови не декомпозується в автоматичному режимі на рішення елементарних задач по кожному об'єкту обліку та операції. На підставі методики узагальнено-множинного відображення інформації виконана постановка двох видів задач автоматизованого аналізу даних елементарних задач за період перевірки в підсистемі аудиту передумови. Дані постановки задач інваріантні щодо особливостей підприємства і є підставою для створення наступних елементів методики формалізації інформації в ІТ СППР.

**Ключові слова:** постановка задачі, автоматизований аналіз даних, інформаційна технологія, СППР аудиту, методика узагальнено-множинного відображення інформації, первинний облік.

### Вступ

На даний час поточною науково-технічною проблемою інформаційних технологій фінансово-економічної сфери є автоматизація аналізу великих обсягів даних фінансово-економічної інформації підприємств, що зберігаються і надходять в режимі онлайн в базах даних локальних та глобальних комп'ютерних систем з метою формування рекомендацій щодо прийняття рішень під час аудиту. Наприклад, ефективність ІТ-бізнесу у зниженні корупції обґрунтована в [1]. В [2] обговорюються теоретичні та практичні питання використання ІТ в аудиторській сфері. Визначено зміни, які вносять до методології аудиту його комплексна комп'ютеризація.

Застосування сучасних систем бухгалтерського обліку та управління на підприємстві, що інтегровані в глобальні, багаторівневі системи інформаційних комп'ютерних мереж, надає потенційні можливості обробки великих обсягів даних, які використовуються не в повному обсязі [3]. В [4] представлено архітектуру підсистем зовнішнього і внутрішнього аудиту системи Аудит 4.0, функціонування та експлуатація яких стикається з проблемою обробки великих обсягів даних. Також сьогодні в практичних і наукових джерелах, які вивчають проблеми та перспективи розвитку аудиту розглядається можливість прийняття законодавчих актів, які дозволять використовувати аналітичні докази (зокрема суперечливості даних) отриманих при аналізі великих обсягів даних, як основи для судових рішень без документального вивчення первинних документів [5].

Говорячи про автоматизацію процедур аналізу, слід зазначити, що в літературі представлені методи виявлення шахрайства на основі застосування моделей нейронних (імовірнісних) мереж, логістичної регресії, дерев рішень, експертних оцінок, статистичні методи аналізу даних [6–9]. Застосування цих методів дозволяє аналізувати окремі показники або виявляти аномальні значення. Їх застосування дає ре-

зультати, якщо виконуються певні умови, які залежать від характеристик показників, тобто вони не є універсальними, що ускладнює їх використання при вирішенні задач автоматизації на всіх етапах аудиту. Це свідчить про те, що тематика дослідження, яка стосується проектування ІТ-аудиту є актуальною.

**Аналіз літературних даних і постановка проблеми.** При проектуванні ІТ-аудиту необхідно припускати можливість їх застосування до фінансово-економічних даних підприємств різних галузей, видів виробництва різної організаційної структури та ІТ обліку. Економіко-виробнича діяльність та ІТ підприємства утворюють складну соціально-економічну технічну систему. Ця система, як об'єкт аудиту, характеризується глобальною багаторівневою ієрархічною структурою гетерогенних, багатofакторних, багатofункціональних взаємозв'язків, взаємозалежностей і взаємодій її підсистем, з ІТ-контролю, обліку, управління, ведення бізнесу, з іншими ІТ і системами в структурі інформаційної системи національної економіки. У той же час дані на кожному рівні мають мережеву структуру. Сучасна методологія прикладного системного аналізу не відповідає цим вимогам [10]. Тому є проблема розробки методологічних основ ІТ-аудиту.

В [11] обґрунтовується необхідність атрибутивної вибіркової перевірки документів навіть за умов повної автоматизації обліку на підставі статистичного підходу до формування аудиторської вибірки. Представлена методика атрибутивного вибіркового дослідження дозволяє визначити обсяг вибірки і верхню межу точності. Однак залишається відкритим питання про методику тестування по кожній групі документів і взаємопов'язаним групам документів (послідовних операцій). Також вказується, що в силу того, що господарські операції та первинні документи формуються за допомогою програм, тому помилки пов'язані з розрахунком сум практично виключені. У той же час тестування необхідно застосовувати з метою з'ясування чи мали дійсно місце факти господар-

ської діяльності враховані в БД комп'ютерної програми обліку. Однак не виконана формальна постановка даного завдання, а також завдання виявлення ознак існування фактів господарської діяльності, які мали місце і не враховані в БД.

В [2] в розділі обґрунтування безпосереднього дослідження облікових записів, наведений перелік проблемних питань, пов'язаних з застосуванням вибіркового методу в аудиті [2, стор. 329]. Також пропонується використання закону Ф. Бенфорда «аномальних чисел» для безперервного статистичного дослідження рахунків і наводяться 4 умови і приклади практичного застосування. Перевірка цих умов вимагає додаткових програмних ресурсів, оскільки вона має застосовуватися до кожного показника і залишається незрозумілим, що робити, якщо ці умови не виконані.

Таким чином, ці методи аналізу дозволяють автоматизувати в ІТ аудиті лише окремі процедури аналізу (наприклад, формування вибірки) або проводити аналітичні процедури в особливих випадках [10]. Не враховуються взаємозв'язки між показниками взаємозалежних груп документів (записів) [2-5] і не є універсальними для всіх показників, що ускладнює автоматизацію аналізу на їх основі. Тобто існує проблема повноти, універсальності та комплексності методики ІТ-аналізу.

В [5] визначено, що існуючі ліцензійне програмне забезпечення на ринку України дозволяє вирішувати наступні задачі: автоматизувати значну частину трудомістких процедур, планування і контролю витрат робочого часу на персоналу. Тим не менш, розглянуті ІТ-аудиту характеризуються наступними проблемами: відсутність взаємопов'язаного (за завданнями, рівнями) аналізу, зворотного зв'язку з його ефективністю та результативністю, оптимізації аналізу відповідно до цілей і обмежень, встановлених ОПР, а також діалог з ОПР на мові предметної області на етапі призначення завдання і тлумачення результатів аналізу.

Проектування ІТ СППР відповідно до методики узагальнено-множинного відображення інформації запропонованої в [12] вимагає створення методики формалізації інформації первинного обліку для автоматизованого вирішення завдань аудиту передумов П (С) БО. Перший етап створення методики постановка елементарних завдань при проектуванні підсистеми аудиту передумови виконаний в роботі [13]. В [13] виділені два види елементарних задач і виконана їх формальна постановка. Перша елементарна задача - визначення еквівалентних і нееквівалентних підмножин при відображенні характеристик взаємопов'язаних операцій, між якими існують відносини відповідності до об'єкту обліку. Друга елементарна задача - визначення еквівалентних і нееквівалентних підмножин при відображенні даних обліку об'єктів двох видів, для яких існують відносини відповідності до однієї операції.

Методика постановки елементарних задач проілюстрована на прикладі підсистеми аудиту передумови «Повнота» матеріальних витрат. Дані елементарні задачі утворюють набір задач по відношенню

до всіх об'єктів обліку та операціями за період перевірки за всіма видами взаємопов'язаних об'єктів і операцій при обліку матеріальних витрат.

**Мета статті:** виконати формальну постановку завдань автоматизованого аналізу даних для набору елементарних задач підсистеми аудиту передумови за період перевірки інваріантну щодо особливостей підприємства і як складових методики формалізації інформації при проектуванні ІТ.

Для цього необхідно вирішити такі **задачі:**

1) визначити функціональні особливості обліку даних елементарних задач аудиту за період перевірки;

2) виконати формальну постановку задач автоматизованого аналізу даних елементарних задач за період перевірки.

В порядку спільності методика розглядається для підсистеми аудиту передумови «Повнота» даних первинного обліку економіко-виробничої (основний) діяльності підприємства так як в силу розмірності даних, видів взаємозв'язків між ними і кількості елементарних підсистем первинного обліку це найбільш загальна і трудомістка задача.

Для наочності і зв'язку з попередніми результатами автора [13] складові методики розглядаються на прикладі підсистеми аудиту передумови «Повнота» матеріальних витрат.

### Функціональні особливості обліку множин даних елементарних задач за період перевірки

Множини даних елементарних задач аудиту утворюють значення характеристик об'єктів обліку та операцій та відношень відповідності між ними. Визначимо їх структуру в підсистемах первинного обліку. Значення характеристик об'єктів обліку кожного виду в первинних підсистемах накопичуються в хронологічному порядку в окремій підсистемі і утворюють множини даних первинного обліку об'єктів кожного виду:

$$E_s = \{e_s(n_s, data), data \in T\}, s = \overline{1, S}, \quad (1)$$

де  $E$  - множина даних об'єктів первинного обліку,  $e$  - множина даних об'єкта первинного обліку,  $s$  та  $S$  - вид і кількість видів об'єктів обліку,  $T$  - період обліку,  $n$  - номер підсистеми обліку,  $data$  - дата створення підсистеми обліку.

Тоді множина даних первинного обліку об'єктів  $E$  за період  $T$  можна представити у вигляді об'єднання підмножин даних первинних обліку об'єктів кожного виду, які не перетинаються:

$$E = \bigcup_{s=1}^S E_s, E_s \cap E_g = \emptyset, s \neq g. \quad (2)$$

Значення характеристик операцій в підсистемах первинного обліку (ППУ) за період  $T$ , які знаходяться відносинах відповідності до елементів множин  $E_{s-1}(T)$  та  $E_s(T)$  утворюють множини даних первинного обліку етапів економіко-вироб-

ничої діяльності (наприклад, здійснення матеріальних витрат):

$$X_{s-1}^s = \left\{ \begin{array}{l} x_s(n_s, data) : (x_s r^- e_{s-1}) \wedge \\ \wedge (x_s r^+ e_s) \wedge (data \in T) \end{array} \right\}, \quad (3)$$

де  $X_{s-1}^s$  - множина даних операцій первинного обліку, які знаходяться в відносинах відповідності до елементів множин  $E_{s-1}$  і  $E_s$ ,  $T$  - період обліку,  $x$  - множина даних первинного обліку операції.

Тоді множина даних операцій  $X$  за період  $T$  можна представити у вигляді об'єднання непересічних підмножин даних операцій  $X_{s-1}^s$  і  $X_s^{s+1}$  по етапах економіко-виробничої діяльності:

$$X = \bigcup_{s=0}^{S-1} X_s^{s+1} = \bigcup_{l=1}^S X_l, \quad X_l \cap X_m = \emptyset, \quad l \neq m. \quad (4)$$

Для визначення структури відносин відповідності між елементами множин даних  $E_s$  об'єктів обліку (1) і множин операцій  $X_s^{s+1}$  (4) за період  $T$ , визначимо їх вид для одного об'єкта обліку. Виділимо наступні функціональні особливості системи обліку даних множин і відносин між ними:

$\Phi_1$  - ППУ с номером  $n_s$  обліку операції  $x_s(n_s)$ , яка знаходиться в відношенні відповідності збільшення  $r_s^+(n_s)$  к об'єкту обліку  $e_s(n_s)$  єдина;

$\Phi_2$  - ППУ операцій  $x_{s+1}(n_{s+1})$  ( $x_{s+1}(n_{s+1}) \in X_s^{s+1}(n_s)$ ,  $X_s^{s+1}(n_s) \subset X_s^{s+1}$ ),

які перебувають у відношенні відповідності  $r_s^-(n_{s+1})$  зменшення об'єкта обліку  $e_s(n_s)$  в загальному випадку більше або дорівнює 1:

$$\forall e_s(n_s) \in E \left( \exists! n_s \in N_s : x_s(n_s) r_s^+(n_s) e_s(n_s) \right) \wedge \left( \begin{array}{l} \exists x_{s+1}(n_{s+1}) \in X_s^{s+1}(n_s) : \\ \wedge (x_{s+1}(n_{s+1}) r_s^-(n_{s+1}) e_s(n_s)) \end{array} \right). \quad (5)$$

Отже, відносини відповідності між ППО а також між об'єктами обліку і операціями за період одно-багатозначні.

Формалізуємо співвідношення (5) у вигляді графа  $G_1$  (рис. 1):

$$\begin{aligned} G_1(e_s) &= (V_1(e_s), R_1(e_s)), \\ V_1(e_s) &= (x_s, x_{s+1}^1, \dots, x_{s+1}^k, e_s), \\ R_1(e_s) &= (r_s^+, r_s^-(n_{s+1}^1), \dots, r_s^-(n_{s+1}^k)), \\ e_s(n_s) &\in E_s \quad s = \overline{1, 4}, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $G_1$  - граф відносин відповідності даних взаємопов'язаних операцій первинного обліку за період  $T$  до даних об'єкта первинного обліку,  $V_1$  - множина вершин графа  $G_1$ ,  $R_1$  - множина ребер графа  $G_1$ ,

$e$  - вершина, що характеризує дані об'єкта первинного обліку,  $s$  - вид об'єкта обліку,  $x$  - вершина, що характеризує дані первинного обліку операції,  $k$  - кількість операцій,  $r^+$  - ребро, що характеризує дані первинного обліку відносини відповідності операції до збільшення об'єкта обліку,  $r^-$  - ребро, що характеризує дані первинного обліку відносини відповідності операції до зменшення об'єкта обліку,  $n$  - номер первинної підсистеми.

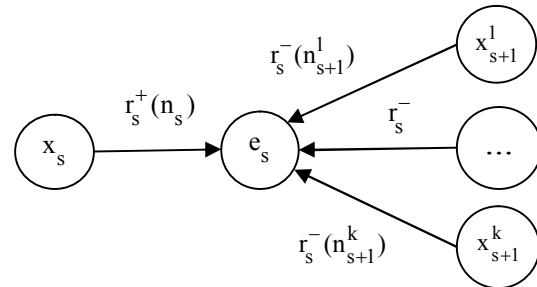


Рис. 1. Граф  $G_1$  відносин відповідності даних взаємопов'язаних операцій первинного обліку за період  $T$  до даних об'єкта первинного обліку

Дані первинного обліку відносин відповідностей взаємопов'язаних операцій виду  $G_1$  до кожного об'єкту обліку за період породжують множини даних первинного обліку відносин відповідності:

$$\begin{aligned} R_s^+ &= \left\{ r_s^+(n_s) : \exists x \in X_{s-1}^s : x r_s^+ e_s(n_s), n_s \in N_s \right\}, \\ s &= \overline{1, 4}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} R_{s+1}^- &= \left\{ r_s^-(n_{s+1}) : \exists x \in X_s^{s+1} : x r_s^- e_s(n_s), \right. \\ n_s &\in N_s, n_{s+1} \in N_{s+1} \left. \right\}, \quad s = \overline{0, 3}. \end{aligned} \quad (8)$$

В силу функціональної особливості системи обліку  $\Phi_2$ , для кожного об'єкта  $e_s(n_s) \in E_s$  існує множина об'єктів  $E_{s+1}(n_s) \subset E_{s+1}$ , які перебувають у відношенні відповідності з даним об'єктом:

$$\begin{aligned} \forall e_s(n_s) \in E_s \exists e_{s+1}(n_{s+1}) \in E_{s+1}(n_s) \subset E_{s+1} : \\ \left( (x_{s+1}(n_{s+1}) r_s^-(n_{s+1}) e_s(n_s)) \wedge \right. \\ \left. (x_{s+1}(n_{s+1}) r_s^+(n_{s+1}) e_{s+1}(n_{s+1})) \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Формалізуємо співвідношення (9) у вигляді графа  $G_2$  (рис. 2):

$$\begin{aligned} G_2(e_s) &= (V_2(e_s), R_2(e_s)), \\ V_2(e_s) &= (e_s, x_{s+1}^1, \dots, x_{s+1}^k, e_{s+1}^1, \dots, e_{s+1}^k), \\ R_2(e_s) &= (r_s^-(n_{s+1}^1), \dots, r_s^-(n_{s+1}^k), \\ r_{s+1}^+(n_{s+1}^1), \dots, r_{s+1}^+(n_{s+1}^k)), \quad e_s(n_s) &\in E_s, \quad s = \overline{0, 3}, \end{aligned} \quad (10)$$

де  $G_2$  - граф відносин відповідності даних взаємопов'язаних об'єктів первинного обліку за період  $T$

до операції,  $V_2$  - множина вершин графа  $G_2$ ,  $R_2$  - множина ребер графа  $G_2$ .

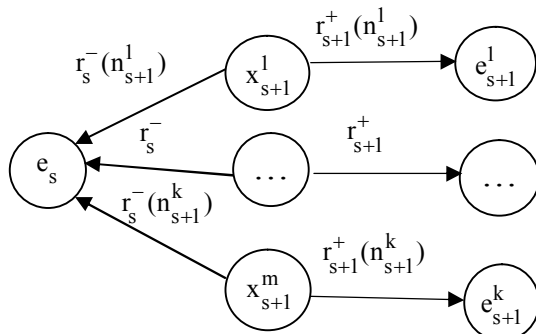


Рис. 2. Граф  $G_2$  відносин відповідності даних операцій первинного обліку за період  $T$  к об'єкту обліку.

Відносини відповідності формалізовані в графі  $G_1$  породжують відображення множин значень характеристик взаємопов'язаних операцій  $X_{s-1}^s$  і  $X_s^{s+1}$  в ППУ за період  $T$ , яке мав би підпорядковуватися правилам передумови.

Значення характеристик взаємопов'язаних операцій множин  $X_{s-1}^s$  і  $X_s^{s+1}$  в ППУ враховуються в хронологічному порядку за період  $T$  у відповідних підсистемах. При цьому дані операцій  $x_s \in X_{s-1}^s$  та  $x_{s+1} \in X_s^{s+1}$ , які перебувають у відношенні відповідності виду  $G_1$  до одного об'єкту обліку.

Відносини відповідності формалізовані в графі  $G_2$  породжують відображення множин значень характеристик взаємопов'язаних об'єктів обліку  $E_s$  і  $E_{s+1}$  в ППУ за період  $T$ , яке мав би підпорядковуватися правилам передумови. Отже, дані два види відображення множин підлягають перевірці в підсистемі аудиту передумови і для них необхідно виконати формальну постановку задачі.

Далі виділимо третю функціональну особливість  $\Phi_3$  системи обліку множин даних елементарних задач. Значення характеристик взаємопов'язаних об'єктів обліку  $E_s$  і  $E_{s+1}$  в ППО враховуються в хронологічному порядку за період  $T$  у відповідних підсистемах. При цьому дані об'єктів обліку  $e_s \in E_s$  і  $e_{s+1} \in E_{s+1}$ , які перебувають у відношенні відповідності виду  $G_2$  до однієї операції НЕ узагальнюються в окремій підсистемі в автоматичному режимі. Тому перевірка передумови не декомпонується в автоматичному режимі на рішення елементарних завдань по кожному об'єкту обліку та операції. Тому виконаємо постановку автоматизованого аналізу для задач аудиту передумови для множин елементарних завдань за період  $T$ .

### Постановка задач автоматизованого аналізу в підсистемі аудиту передумови

На підставі виконаної вище формалізації множин перевірки (1) і (3) і двох видів взаємозв'язків між ними представлених у вигляді графів  $G_1$  і  $G_2$ , виконаємо формальну постановку двох видів локальних задач аудиту передумови.

Перша локальна задача - визначення еквівалентних і нееквівалентних підмножин при відображенні даних множин операцій  $X_{s-1}^s$  і  $X_s^{s+1}$  в первинних підсистемах, між якими існують відносини відповідності виду  $G_1$  до об'єктів обліку множини  $E_s$  за період перевірки  $T$ .

Друга локальна задача - визначення еквівалентних і нееквівалентних підмножин при відображенні даних обліку множин об'єктів  $E_s$  і  $E_{s+1}$  двох видів в первинних підсистемах для яких існують відносини відповідності виду  $G_2$  до операцій множини  $X_s^{s+1}$  за період перевірки  $T$ .

Для виділених завдань необхідно сформулювати методики їх вирішення. Методика рішення першої локальної задачі буде, наприклад, реалізуватися в наступних підсистемах аудиту даних матеріальних витрат: «Розрахунки з постачальниками», «Запаси», «Виробництво», «Готова продукція». Методика рішення другої локальної задачі буде, наприклад, реалізуватися в підсистемах аудиту взаємозв'язків між перерахованими підсистемами обліку матеріальних витрат. Для вирішення виділених локальних задач формуються відповідні підсистеми. У СППР аудиту множина даних, що перевіряються може бути визначено за результатами аудиту на верхніх рівнях, або задано ЛПР на нижньому.

### Висновки

1. Визначено особливості автоматичного обліку характеристик елементів предметної області та взаємозв'язків між ними в підсистемі первинного обліку які інваріантні щодо особливостей підприємства. Це дозволило визначити, що пряме відображення даних підсистемах первинного обліку багатозначно, а зворотнє однозначно, а також, що перевірка передумови не декомпонується в автоматичному режимі на рішення елементарних задач по кожному об'єкту обліку та операції.

2. На підставі методики узагальнено-множинного відображення інформації виконана постановка задач автоматизованого аналізу даних в підсистемі аудиту передумови, які інваріантні щодо особливостей підприємства. Це дозволяє перейти до наступних етапів створення методики формалізації інформації в ІТ СППР аудиту

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Xinli Hu. Effectiveness of information technology in reducing corruption in China / Xinli, Hu // Electronic Library, 2015 – Vol. 33. – Issue 1. – P. 52–64, doi: <https://doi.org/10.1108/el-11-2012-0148>.
- Ивахненко С. В. Информационные технологии аудита и внутрихозяйственного контроля в контексте мировой интеграции: монография / С. В. Ивахненко – Житомир: ЧП «Рута», 2010. – 432 с.

3. Kirkos E. Data mining techniques for the detection of fraudulent financial statement / E. Kirkos, C. Spathis, Y. Manolopoulos // *Expert Syst. Appl.*, 2007– Vol. 32 Issue 4. - p. 995–1003.9, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.02.016>.
4. Dai J, Vasarhelyi M. A. *Imagineering Audit 4.0* / J. Dai, M. A. Vasarhelyi. // *Journal of Emerging Technologies in Accounting*, 2016 – № 13(1). – P. 1–15.
5. Яремко С.А., Коваленко В.В. Дослідження проблем впровадження сучасних інформаційних систем аудиту в контрольно-ревізійній діяльності / С.А. Яремко, В.В. Коваленко // *Комп'ютерно-інтегровані технології освіта наука виробництво - Луцьк*, 2014. - № 14 – С. 179–182.
6. Jarrod West. *Intelligent Financial Fraud Detection Practices: a comprehensive review* / West Jarrod, M Bhattacharya and R Islam // *Computers & Security*, 2016. – Vol. 57. – P. 47–66. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23802-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23802-9_16)
7. Chi-Chen Lin. Detecting the financial statement fraud: The analysis of the differences between data mining techniques and experts' judgments / Lin Chi-Chen, Chiu An-An, Yan Huang Shaio, C. Yen. David // *Knowledge-Based Systems*, 2015. – № 89. – P. 459–470, doi: 10.1016/j.knsys.2015.08.011.
8. Mohiuddin Ahmeda. A survey of anomaly detection techniques in financial domain / A Mohiuddin, N Mahmooda Abdun, Md Rafiqul Islam // *Future Generation Computer Systems*, 2016. – № 55. – P. 278–288. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2015.01.001>
9. Бююль А. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / А. Бююль, П. Цёфель; пер. с нем. – СПб.: ДиаСофтЮП, 2005. – 608 с.
10. Згуровський М. З. «Системний аналіз: Методологія. Проблеми. Приложения». Монографія 2-е видання, перероблена та доповнена / М. З. Згуровський, Н. Д. Панкратова – Київ, вид-во «Наукова думка», 2016. – 726 с.
11. Андренко Е. А. Методика атрибутивного выборочного исследования в аудите / Е. А. Андренко, С. М. Мордовцев // *Бизнес Информ*, 2013. – № 2. – С. 200–203.
12. Нескорородева, Т. В. Правила и составные части методики обобщенно-множественного отображения информации в подсистеме аналитического учета СППР аудита верхнего уровня/ Т. В. Нескорородева // *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 55 (1276). – С. 31–38.
13. Нескорородева, Т. В. Постановка елементарних задач аудиту передумови положень бухгалтерського обліку в інформаційній технології системи підтримки прийняття рішень / Т. В. Нескорородева // *Сучасні інформаційні системи*. 2019. Т. 3, № 1 – С. 48–53. doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.1.08>.

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. А. А. Коваленко,

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Received (Надійшла) 19.03.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.05.2019

### Постановка задач автоматизированного анализа данных в подсистеме аудита предпосылки информационной технологии системы поддержки принятия решений

Т. В. Нескорородева

**Цель статьи.** Выполнить постановку задач аудита автоматизированного анализа данных в подсистеме аудита предпосылки Положений (стандартов) бухгалтерского учета в ИТ СППР, которые инвариантны относительно особенностей предприятия и будут составляющими методики формализации информации при проектировании ИТ. Определено, что существует проблема универсальности инструментария автоматизированного анализа, а также полноты, и комплексности методик проектирования ИТ аудита. Определены особенности учета данных аудита предпосылки за период проверки в подсистеме первичного учета. Это позволило определить, что прямое отображение данных, подчиненных предпосылке многозначно, а обратное однозначно, а также, что проверка предпосылки не декомпозируется в автоматическом режиме на решение элементарных задач по каждому объекту учета и операции. На основании методики обобщенно-множественного отображения информации выполнена постановка двух видов задач автоматизированного анализа данных элементарных подзадач за период проверки в подсистеме аудита предпосылки. Данные постановки задач инвариантны относительно особенностей предприятия и являются основанием для создания следующих элементов методики формализации информации в ИТ СППР.

**Ключевые слова:** постановка задачи, автоматизированный анализ данных, информационная технология, СППР аудита, методика обобщенно-множественного отображения информации, первичный учет

### Setting the tasks of automated data analysis in the precondition audit subsystem information technology of the decision support system

T. Neskoroedieva

**The purpose of the article.** Perform the formulation of the audit tasks of automated data analysis in the audit subsystem of the precondition of the Regulations (standards) of accounting in IT DSS, which are invariant with respect to the features of the enterprise and will be part of the methodology for formalizing information in IT design. It was determined that there is a problem of universality of automated analysis tools, as well as the completeness and complexity of IT audit design techniques. The specifics of accounting for audit data for the prerequisite for the period of verification in the primary accounting subsystem are determined. This made it possible to determine that direct mapping of data subordinate to a premise is multivalued, and the opposite is unique, and that verification of a premise is not automatically decomposed into solving elementary problems for each accounting object and operation. Based on the method of generalized-multiple display of information, two types of tasks for automated data analysis of elementary subtasks for the period of checking in the audit subsystem of the premise were set. The data of setting tasks invariant with respect to the specific features of the enterprise are the basis for creating the following elements of the method of formalizing information in IT DSS.

**Keywords:** problem statement, automated data analysis, information technology, DSS audit, the method of generalized-multiple display of information, primary accounting.



К. В. Нечволод<sup>1</sup>, О. В. Северінов<sup>1</sup>, А. В. Власов<sup>2</sup>

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

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

## АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ ДАНИХ В ЕММ СИСТЕМАХ

**Предметом** дослідження в статті є аналіз методів, що забезпечують безпеку корпоративних даних та порядок доступу до них за умови використання систем керування власними пристроями в корпоративних цілях - ЕММ (Enterprise Mobility Management) систем. **Мета роботи** – розгляд та порівняння різних існуючих ЕММ систем, дослідження їх характеристик та можливостей. В статті вирішуються наступні **завдання**: розгляд задач, структури та складових функцій ЕММ систем, визначення їх переваг та недоліків, аналіз найпопулярніших ЕММ систем. Отримано наступні результати: розглянута структура, основні підсистеми, переваги та недоліки систем керування власними пристроями, проаналізовані найпопулярніші програмні ЕММ системи. **Висновки**: Проведений аналіз основних концепцій побудови ЕММ системи в цілому та найпопулярніших представників ринку систем керування мобільними пристроями показав, що вибір однієї з них залежить від напрямків діяльності організації, операційної системи та фірми виробника пристроїв, що використовуються співробітниками в професійній діяльності. Застосування ЕММ систем для ведення бізнесу можна назвати цілком оправданим однак лише при коректному налаштуванні та впровадженню цих систем.

**Ключові слова**: ЕММ система, BYOD система, віддалене керування мобільними пристроями, захист корпоративної інформації.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В даний час все більше особисті мобільні пристрої, такий як смартфон, планшет чи ноутбук, використовуються не тільки для повсякденних цілей, а в тому числі і для виконання завдань професійної діяльності. Однак користуватися ними в робочих питаннях буває досить складно, або взагалі неможливо через встановлені політики безпеки в організаціях. Тому на початку ХХІ сторіччя було запропоновано використання нової ІТ-політики, яку назвали Bring Your Own Device (BYOD), або «взьми свій власний пристрій». Але найбільшої популярності ця концепція досягла лише в 2010-х роках за підтримки таких компаній як Intel, Citrix Systems та Unisys [1–17].

Першою реалізацією цієї політики стали Mobile Device Management (MDM) системи, які включали набір сервісів та технологій, що забезпечували контроль та захист мобільних пристроїв, які використовує організація та її співробітники. Керування мобільними пристроями переслідує дві задачі: забезпечення безпеки корпоративної інформації на пристроях, які знаходяться поза мережевої інфраструктури, а також контроль за станом самих пристроїв. Одними з найпоширеніших проблем, з якими стикається більшість компаній є такі: втрата або крадіжка мобільного пристрою; атаки на пристрої, які вже утилізуються; вірусні атаки; фішингові атаки; автоматичне завантаження недозволених додатків; атаки через небезпечні мережі. Ці загрози можуть впливати на такі активи компанії, як особисті данні, інтелектуальна власність підприємства, фінансові активи, справність та доступність пристроїв та сервісів. Захист від цих загроз і є призначенням MDM систем.

Еволюцією MDM систем стали Enterprise Mobility Management (EMM) системи, які включали окрім MDM також і Mobile Identity Management, Mobile Application Management, Mobile Content Management системи [1, 18].

**Метою статті** є аналіз можливостей та недоліків ЕММ систем, виявлення можливих погроз при їх застосуванні.

### Виклад основного матеріалу

**Загальна структура системи.** В першу чергу призначенням ЕММ систем є корпоративне керування, безпека та контроль мобільних розрахунків. Система охоплює усі процеси і політики на всіх мобільних пристроях, які являються частиною або основними елементами бізнес-процесів. Сфера діяльності ЕММ в основному направлена на безпеку, інтеграцію додатків та керуванні, а також на фінансові наслідки таких рішень.

При використанні ЕММ систем корпоративна політика повинна гарантувати, що додаток буде інтегровано і він може бути використаним на мобільному пристрої, водночас повинні забезпечуватися необхідні механізми безпечного доступу. Крім того організація повинна контролювати і керувати усіма процесами, пов'язаними з бізнесом та фінансовими расходами, пов'язаними з використанням таких рішень пристроям які можуть належати організації або співробітнику. Таким чином, ЕММ система - це набір людей, процесів і технологій, зосереджених на керуванні мобільними пристроями, бездротовими мережами та іншими сервісами мобільних обчислень в контексті бізнесу. Для досягнення розділення особистої та корпоративної інформації в мобільному пристрої застосовуються методи:

1) управління мобільними додатками (Mobile application management, MAM) - управління пристроями на рівні додатків. Наприклад, налаштування їх доступу до інформації;

2) управління мобільною ідентифікацією (Mobile identity management, MIM) - функціонал, що обмежує використання мобільного пристрою. Наприклад, призначення ролей користувачів;

3) управління мобільним контентом (Mobile content management, MCM) - повний контроль на

рівні корпоративного контенту. Може включати в себе обмеження копіювання і вставки, доступу до репозиторіїв бізнес-контенту. Майже завжди є частиною EMM системи;

4) управління мобільним пристроєм (Mobile device management, MDM) - система, що працює на рівні мобільного пристрою та забезпечує повний доступ до всіх його можливостей.

Не дивлячись на те, що усі методи розділення особистої та бізнес інформації мають одну й ту ж саму мету, а саме захист корпоративних додатків та інформації, підходи їх реалізації можуть розрізнятися [18–20].

EMM система потребує, що на пристрої обов'язково створюється додатковий простір для збереження корпоративної інформації (рис. 1) [18]. Це дозволяє досягти розподілення контенту на персональному девайсі користувача, що забезпечує безпеку. Реалізація цієї функції може бути різною та напряму впливати на рівень захищеності від атак. Вона дозволяє забезпечувати різні механізми безпеки такі як: завантаження оновлень контенту напряму до захищеного контейнера; обмеження доступу до даних в контейнері в залежності від часу або місця розташування пристрою; дистанційне видалення даних в контейнері.

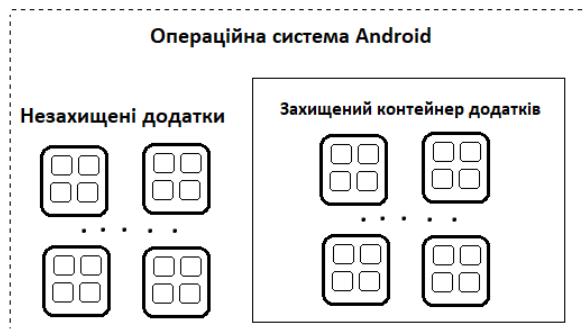


Рис. 1. Розділення даних в EMM системі

**Переваги та недоліки системи.** До переваг EMM систем можна віднести те, що організацією може контролюватися використання співробітниками їх пристроїв в робочій мережі.

Підвищується ефективність комунікацій співробітників організації, покращується якість забезпечення корпоративної безпеки через те, що адміністраторам безпеки не потрібно окремо налаштовувати кожен пристрій, а політики встановлюються масово на підключені пристрої. Окрім цього, з'являється можливість доставки електронної пошти, синхронізації календаря та контактів на смартфонах, планшетах та інших персональних пристроях. Для досягнення безпеки застосовується захист каналу за допомогою віртуальної приватної мережі (VPN) і служб віддалених робочих столів.

До недоліків перш за все потрібно віднести вартість впровадження таких систем. По-друге це фрагментованість пристроїв та їх програмного забезпечення [21]. Результати аналізу фрагментованості ОС Android наведена в табл. 1. В більшості випадків цей фактор, якщо не унеможливує, то дуже ускладнює

керування, налаштування та своєчасне оновлення програмного забезпечення на всіх пристроях. Для нормального функціонування системи в цілому потрібно мати в штаті кваліфікованих адміністраторів. Деякі співробітники можуть негативно ставитись до щільного контролю з боку організації, тому можуть виникнути складнощі. Політика безпеки в компанії може взагалі унеможливити використання персональних пристроїв, що робить недоцільним впровадження EMM системи.

Таблиця 1 – Фрагментованість ОС Android

Версія	Кодове ім'я	API	Поширеність
2.3.3-2.3.7	Gingerbread	10	0.3%
	Ice Cream	15	0.3%
4.0.3-4.0.4	Sandwich		
4.1.x	Jelly Bean	16	1.2%
4.2.x		17	1.5%
4.3		18	0.5%
4.4	KitKat	19	6.9%
5.0	Lollipop	21	3.0%
5.1		22	11.5%
6.0	Marshmallow	23	16.9%
7.0	Nougat	24	11.4%
7.1		25	7.8%
8.0	Oreo	26	12.9%
8.1		27	15.4%
9	Pie	28	10.4%

**Порівняння найпопулярніших систем.** На сьогоднішній день на ринку існує достатньо багато EMM систем [22]. Лідером на ринку EMM систем вважається система AirWatch by VMware [23]. Ця продукція користується попитом в таких галузях як енергетика, роздрібна торгівля, перевезення та інші. AirWatch by VMware підтримується всіма актуальними операційними системами, такими як Android, IOS, Windows, MacOS. Може використовуватися для налаштувань пристроїв з Android Enterprise або Samsung Knox та складається з чотирьох підсистем:

– Mobile device management, що забезпечує можливість швидкої ініціалізації пристроїв для корпоративного використання, застосування політики безпеки та захисту корпоративних даних за умови доступу з мобільних систем;

– Mobile Application Management, що забезпечує можливість керування та встановлення або видалення окремих додатків на рівні співробітників, персональних або робочих станцій підприємства;

– Mobile Email Management, що забезпечує можливість захищеності корпоративної пошти;

– Mobile Content Management, що забезпечує можливість захищеного доступу до робочих даних.

MobileIron Platform це продукт компанії MobileIron, який є найбільш швидко розвивається у світі [24]. Він об'єднує класичний набір засобів безпеки та EMM функціоналу, таких як MDM, MAM, MCM. Також підтримує багато популярних операційних систем, що дозволяє швидко впровадити цю систему до існуючої бізнес інфраструктури. Технологічно складається з двох серверів: MobileIron VSP та MobileIron Sentry. Перший відповідає за керування системою, облік пристроїв та поширення політики безпеки на кожен

пристрій. Інший контролює підключення пристроїв, веде облік усіх спроб підключення, контролює доступ до поштового серверу. Обидва сервери можуть бути встановлені як віртуальна машина або як окремих дистрибутив.

Платформа MaaS360Cloud від IBM дозволяє керувати операційними системами – Android, IOS, Windows та MacOS [25]. Дозволяє Керувати документами, поширювати додатки. Існує можливість захисту від різних вірусних атак та компрометації пристрою, наприклад втрати або крадіжки. Забезпечує створення VPN каналу для захисту інтернет з'єднань. Також сумісний з такою технологією як Android Enterprise та Samsung KNOX. Також плюсом даного продукту є його інтеграція з іншим продуктом компанії штучним інтелектом IBM Watson.

Samsung KNOX for Enterprise є розробкою компанії Samsung, яка доступна тільки на пристроях цієї фірми виробника [26]. Це можна віднести до найголовнішого недоліку цієї системи, однак це забезпечує наявність функцій, які недоступні для інших програмних продуктів. Головними перевагами цієї системи є глибока інтеграція з «залізом» та програмним забезпеченням пристроїв, забезпечення гарантованого захисту корпоративних даних, наявності окремих VPN каналів для кожного додатка в так званому захищеному контейнері, окремого захищеного середовищу для бізнес додатків, корпоративної інформації тощо. Наявність контролю за станом пристрою, можливість повного керування адміністраторами даними на окремому пристрої. Однією з можливостей, яка виділяє цю систему від інших є можливість реєстрації пристрою в системі, налаштування на ньому усіх політик безпеки, встановлення необхідного програмного забезпечення ще до відкриття заводського пакування та першого запуску пристрою, що значно облегшує та пришвидшує імплементацію цього продукту.

Використання EMM систем не може вберегти пристрій від втрати, або крадіжки, але вони дозволяють мінімізувати ризики, які можливі при даних випадках. Однією з основних можливостей є віддалене керування, видалення усіх даних. Можливе навіть блокування доступу до робочої зони, якщо зловмисник знає пароль

доступу. Для захисту від досліджень зловмисниками утилізованих пристроїв в системі обов'язково застосовується шифрування усіх важливих даних. Для захисту від встановлення небезпечного програмного забезпечення застосовуються механізми налаштувань прав на пристрої. Наприклад, адміністраторами можливе блокування встановлення будь-яких програм, окрім програм з офіційного магазину додатків, який керується організацією. Крім того, деякі системи постійно моніторять стан системи і виявляють будь-яке вторгнення, що забезпечує гарантію якості та надійності системи в цілому. Що стосується захисту під час мережевого обміну інформацією, то основним засобом є VPN. Окремі системи також можуть використовувати автентифікацію при доступі до корпоративної мережі шифрування усього трафіку. Присутня можливість створювати для кожного додатка окремий VPN канал, що також забезпечує додаткову захищеність за умови використання загальнодоступних або ненадійних мереж. Це також створює додаткові переваги для сервера, тому що не потребує постійної підтримки каналу для усіх додатків.

### Висновки

Збільшення ринку мобільних пристроїв сприяє їх більш масовому використанню в корпоративному сегменті для оптимізації робочого процесу та економії коштів. Достатньо стрімкий розвиток систем керування мобільними пристроями показує, що це є перспективним напрямком в IT та бізнес індустрії. Велике різноманіття компаній, які надають такі сервіси сприяє більш якісному розвитку технологій для забезпечення захисту корпоративної інформації як на самих пристроях, так і під час віддаленого доступу до корпоративної мережі. Проведений аналіз основних концепцій побудови EMM системи в цілому та найпопулярніших представників ринку систем керування мобільними пристроями показав, що вибір однієї з них залежить від напрямків діяльності організації, операційної системи та фірми виробника пристроїв, що використовуються співробітниками в професійної діяльності. Але кожна з розглянутих EMM систем дозволяє забезпечити базовий набір функцій безпеки інформації.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Madden J., Madden B. Enterprise Mobility Management: Everything you need to know about MDM, MAM, and BYOD. – Jack Madden, 2013. 176 p.
2. Saravana, Balaji B., Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), “Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation”, *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446.
3. Saravana, Balaji B., Mohamed, Uvaze Ahamed, Eswaran C. and Kannan R., (2019), “Prediction-based Lossless Image Compression”, *Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics (Springer)*, Vol. 30, No 1, pp.1749 – 17961,
4. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of TCP Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
5. Dhivakar B., Saravanan S.V., Sivaram M., Krishnan R.A. Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique”. *Computer Science and Engineering*. 2012. Vol. 2, Issue 5. pp.43-45.
6. Sivaram, M., Batri, K., Amin Salih, Mohammed and Porkodi V. (2019), “Exploiting the Local Optima in Genetic Algorithm using Tabu Search”, *Indian Journal of Science and Technology*, Volume 12, Issue 1.
7. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies*. 2015. P. 266-271.
8. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81.
9. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113. DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>

10. Кучук Г. А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, А.А. Янковский // Системи обробки інформації. – 2014. – № 7(123). – С. 93-96.
11. 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.
12. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), "The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
13. Sivaram, M., Porkodi, V., Mohammed, A.S., Manikandan V. Detection of Accurate Facial Detection Using Hybrid Deep Convolutional Recurrent Neural Network. *ICTACT Journal on Soft Computing*. 2019. Vol. 09, Issue 02. pp. 1844-1850.
14. Mohammed, A. S. Optimal Forecast Model for Erbil Traffic Road Data. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2017. Vol. 29, No 5. P. 137-145. DOI: <https://doi.org/10.21271/ZJPAS.29.5.15>
15. 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>
16. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139-144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
17. Kravets A. G., Bui N. D., Al-Ashval M. Mobile security solution for enterprise network //Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering. – Springer, Cham, 2014. – С. 371-382.
18. Peraković D., Husnjak S., Cvitić I. Comparative analysis of enterprise mobility management systems in BYOD environment //The 2nd Reseach Conference In Technical Disciplines, RCITD. – 2014. – С. 82-85.
19. Redman P., Girard J., Wallin L. O. Magic quadrant for mobile device management software //Gartner G00211101. – 2011.
20. Ortbach K., Brockmann T., Stieglitz S. Drivers for the adoption of mobile device management in organizations. – 2014.
21. Android developer[Електронний ресурс]: <https://developer.android.com/about/dashboards> Distribution dashboard
22. Android Enterprise Solutions Directory [Електронний ресурс]. -Режим доступу:
23. <https://androidenterprisepartners.withgoogle.com/emm/> EMMs
24. VMWare AirWatch[Електронний ресурс]:[Веб-сайт]-Режим доступу: <https://www.air-watch.com/>
25. MobileIron[Електронний ресурс]:[Веб-сайт]-Режим доступу: <https://www.mobileiron.com/>
26. IBM MaaS360 with Watson[Електронний ресурс].—Режим доступу: <https://www.ibm.com/security/mobile/maas360>
27. Samsung. WhitePaper: Knox Platform for Enterprise, 2018.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І. В. Рубан,  
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Received (Надійшла) 23.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

#### Анализ безопасности данных в EMM системах

К. В. Нечволод, А. В. Северинов, А. В. Власов

**Предметом** исследования в статье является анализ методов, обеспечивающих безопасность корпоративных данных и порядок доступа к ним при использовании систем управления собственными устройствами в корпоративных целях - EMM (Enterprise Mobility Management) систем. **Цель работы** - рассмотрение и сравнения различных существующих EMM систем, исследование их характеристик и возможностей. В статье решаются следующие **задачи**: рассмотрение задач, структуры и составляющих функций EMM систем, определение их преимуществ и недостатков, анализ самых популярных EMM систем. Получены следующие **результаты**: рассмотрена структура, основные подсистемы, преимущества и недостатки систем управления собственными устройствами, проанализированы самые популярные программные EMM системы. **Выводы**: Проведенный анализ концепций построения EMM системы в целом и популярных представителей рынка систем управления мобильными устройствами показал, что выбор одной из них зависит от направлений деятельности организации, операционной системы и фирмы производителя устройств, используемых сотрудниками в профессиональной деятельности. Применение EMM систем для ведения бизнеса можно назвать вполне оправданным только при корректной настройке и внедрению этих систем.

**Ключевые слова:** EMM система, BYOD система, удаленное управление мобильными устройствами, защита корпоративной информации.

#### Data security analysis in EMM systems

K. Nechvolod, O. Sievierinov, A. Vlasov

**The subject** of research in the article is the analysis of methods that ensure the security of corporate data and the order of access to it when using its own device management systems for corporate purposes - EMM (Enterprise Mobility Management) systems. **The purpose** of the work is to review and compare various existing EMM systems, to study their characteristics and capabilities. The article solves the following **tasks**: consideration of the tasks, structure and constituent functions of EMM systems, determination of their advantages and disadvantages, analysis of the most popular EMM systems. The following **results** were obtained: the structure, main subsystems, advantages and disadvantages of the systems for managing their own devices were considered, the most popular software EMM systems were analyzed. **Conclusions**: The analysis of the main concepts of EMM system construction as a whole and the most popular representatives of the market for mobile devices management systems has shown that the choice of one of them depends on the directions of the organization, operating system and manufacturer's devices companies used by the employees in their professional activities. The use of EMM systems for business can be called fully justified only with the correct configuration and implementation of these systems.

**Keywords:** EMM system, BYOD system, remote control of mobile devices, protection of corporate information.

В. О. Подліпаєв

Інститут інформаційних технологій і глобального інформаційного простору, Київ, Україна

## КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ТРАНСДИСЦИПЛІНАРНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ З КОМПОНЕНТНОЮ АРХІТЕКТУРОЮ

**Предметом** вивчення в статті є концепція побудови системи трансдисциплінарного інформаційного забезпечення геопросторового аналізу з компонентною архітектурою. **Метою** є розробка концепції побудови системи трансдисциплінарного інформаційного забезпечення геопросторового аналізу з компонентною архітектурою. **Завдання:** розглянути загальний опис системи інформаційної підтримки геопросторового аналізу, роботу з джерелами геопросторової інформації та введення знайдених даних до системи, створення формалізованого масиву несистематизованих геопросторових даних, бази геопросторових даних та пов'язаною з ними інформації, геоінформаційної платформи, експертного середовища. Використовуваними **методами** є: методи аналізу і синтезу складних інформаційних систем, методи системного аналізу, методи імітаційно-статистичного моделювання. Отримані такі **результати**. Встановлено, що геопросторовий аналіз є процесом визначення просторових, структурно-функціональних та інших взаємозв'язків між геопросторовими об'єктами для уточнення, зміни або отримання якісно нової розвідувальної інформації. Запропонована система матиме компонентну архітектуру й кожний експерт-аналітик може з типових компонентів системи створити власне аналітичне середовище. Відповідно до створеного аналітичного середовища буде організовано пошук та збір потрібної інформації, а також доведення до експерта-аналітика саме тієї інформації, яка відноситься до його компетенції. **Висновки.** Запропонована система інформаційного забезпечення процесів геоінформаційної підтримки та ведення геопросторового аналізу дозволяє оперативно здійснити пошук та надання потрібної експерту-аналітику інформації. При цьому система здатна використовувати інформацію, як з власних баз даних, так і з різномірних зовнішніх інформаційних ресурсів.

**Ключові слова:** геопросторовий аналіз, геопросторовий об'єкт, трансдисциплінарний підхід, онтологічний підхід, інформаційний ресурс, інформаційна підтримка, експерт-аналітик.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

Геопросторовий аналіз – це процес пошуку просторових закономірностей у розподілі географічних даних і взаємозв'язків між об'єктами. [1]. Геопросторовий аналіз є свого роду унікальною лінзою, через яку вивчаються події, структури й процеси, які відбуваються на Землі або поблизу поверхні нашої планети [2]. В результаті аналізу географічної інформації отримують якісно нову інформацію й виявляють досі невідомі закономірності.

Геопросторовий аналіз має відношення до проблеми "що" відбувається і "де". Такий аналіз використовує географічну інформацію, яка є базовою інформацією для побудови на ній структури аргументів, які забезпечують повноту просторового аналізу. В принципі немає ніяких обмежень щодо складності просторових аналітичних методів, які, можливо, знайшли застосування в світі, і можуть бути використані для стимулювання цікавих ідей та підтримки практичних дій і рішень. Насправді деякі методи можуть бути більш простішими, кориснішими і глибшими, ніж інші [3].

Геопросторовий аналіз не належить до певної тематики, це аналітичний інструментарій, який може застосовуватися у різних сферах. Відмінним також можуть бути особливості його застосування та отримані результати. Наприклад, у сфері безпеки і оборони. Геопросторовий аналіз – процес визначення просторових, структурно-функціональних та інших взаємозв'язків між геопросторовими об'єктами для уточнення, зміни або отримання якісно нової розвідувальної інформації [4].

Геопросторовий об'єкт – об'єкт реального світу, що характеризується певним місцезоположенням на Землі і визначений у встановленій системі просторово-часових координат [4].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Просторовий аналіз існує на стику між людиною і комп'ютером. Обидва у ньому грають важливу роль – з одного боку, шлях людської інтуїції зі всією його розпливчастістю і неформальністю, і з іншого боку, шлях формального, точного просторового аналізу [5].

Геопросторовий аналіз – це динамічний процес роботи зі значними обсягами даних. Причому, не зважаючи на те, що аналіз називається геопросторовий, в основному опрацьовуються не геопросторові дані, а інша інформація, яка безпосередньо пов'язана з ними або має контекстне відношення до них [2, 3]. Тобто областю геопросторового аналізу є певна територія (акваторія або простір) та об'єкти або події (явища), які знаходяться або відбуваються на ній.

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

Проблематикою цієї ситуації є те, що всі необхідні для геопросторового аналізу дані, експерт не виробляє. Однак, всі ці дані йому потрібні постійно. Причому вони виробляються та знаходяться на різноманітних інформаційних ресурсах, які відносяться до різних сфер знань.



Основним фактором надійності роботи аналітика є – безперервне, або як найшвидше, забезпечення його необхідною інформацією. Вирішення цього питання можливо шляхом максимально можливої автоматизації процесів пошуку, збору та доведення потрібної інформації до експерта-аналітика з використанням трансдисциплінарного підходу.

Отже, потрібно побудувати певну систему інформаційного забезпечення аналітичного процесу. Але яку? Що вона повинна шукати й кому надавати дані? Універсальну систему побудувати практично неможливо. По-перше: неможливо передбачити усі питання геопросторового аналізу, по-друге: не існує багатовекторних експертів-аналітиків. Тому створювати громіздкі системи на всі випадки недоцільно, дуже дорого та довго. Виходом з цієї ситуації є зворотній підхід. Тобто будемо виходити від потреб експерта-аналітика.

Система матиме компонентну архітектуру й кожний експерт-аналітик може з типових компонентів системи створити власне аналітичне середовище.

Відповідно до створеного аналітичного середовища буде організовано пошук та збір потрібної інформації, а також доведення до експерта-аналітика саме тієї інформації, яка відноситься до його компетенції.

**Мета статті** – розробити концепцію побудови системи трансдисциплінарного інформаційного забезпечення геопросторового аналізу з компонентною архітектурою.

### Основна частина

**Загальний опис системи.** Система має п'ять функціональних модулів, кожний з яких в свою чергу складається з певних компонентів (рис. 1).

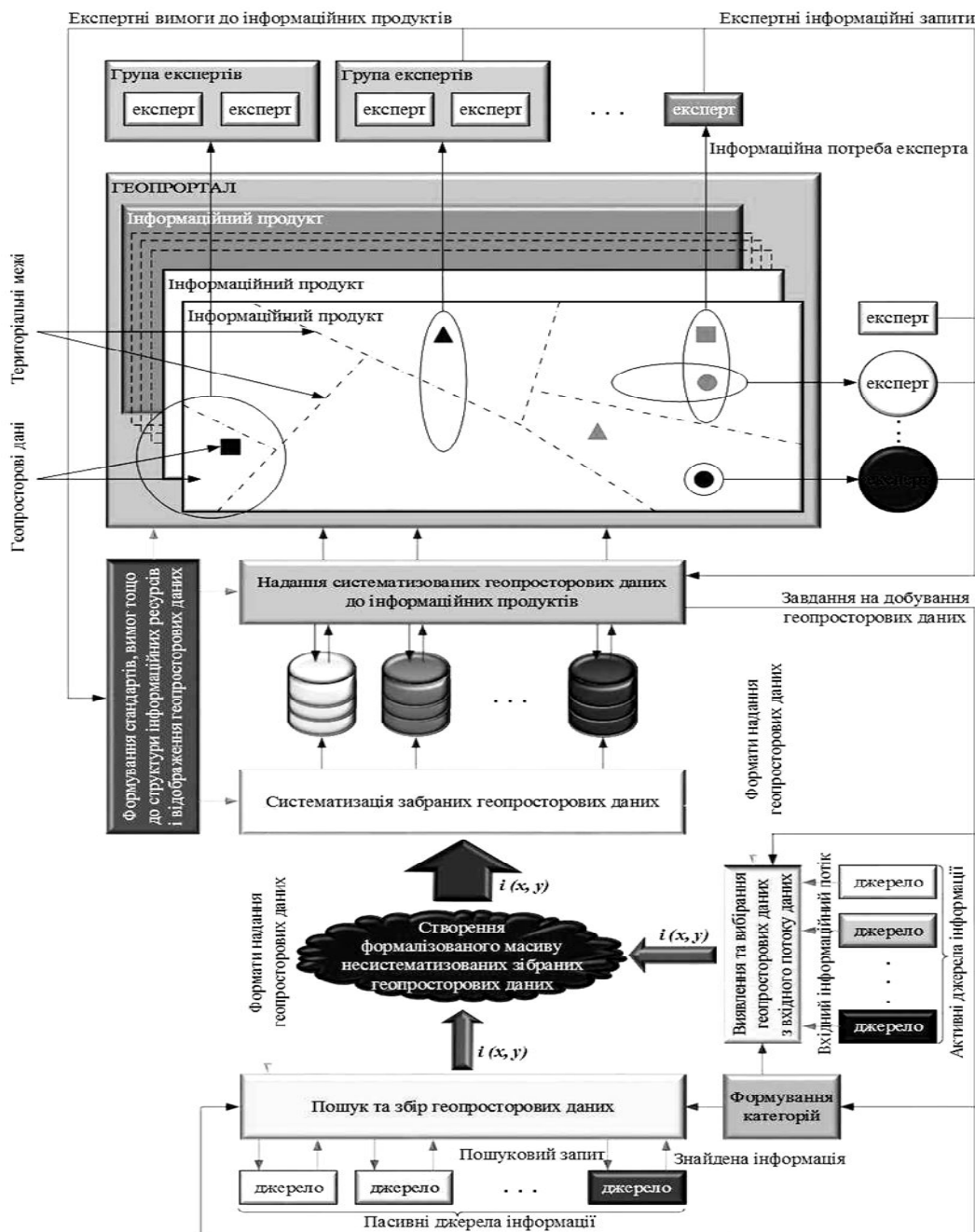


Рис. 1. Система інформаційної підтримки геопросторового аналізу



Перший – відповідає за роботу з джерелами геопросторової інформації та введення знайдених даних до системи.

Він містить функціональні компоненти: організації пошуку та збору потрібної інформації з різних джерел;

формування категорій, за якими буде здійснюватися пошук;

пошуку та збору геопросторових даних з пасивних джерел інформації;

пошуку та збору геопросторових даних з активних джерел інформації.

Другий – відповідає за роботу з введеною до системи інформації та створення формалізованого масиву несистематизованих геопросторових даних.

Він містить функціональні компоненти, які об'єднують вхідні інформаційні потоки в один масив та забезпечують його представлення у визначеному вигляді.

Третій – є базою геопросторових даних та пов'язаною з ними інформації.

Він містить такі функціональні компоненти:

постановка завдань на пошук та збір необхідної геопросторової інформації;

створення форматів надання геопросторової інформації до бази даних;

систематизації наданих геопросторових даних; накопичення та зберігання інформації у спеціалізованих базах даних;

надання систематизованих геопросторових даних до визначених геоінформаційних ресурсів.

Четвертий – геоінформаційна платформа (геопортал) представлення та доведення до експертного середовища геопросторових даних і пов'язаної з ними інформації для здійснення геоінформаційної підтримки та ведення геопросторового аналізу.

Він містить наступні функціональні компоненти:

базовий набір типових геоінформаційних ресурсів;

створення нових геоінформаційних ресурсів;

ведення геопросторового аналізу;

акцентування певної інформації відповідно до інформаційного запиту експерта та його сфери відповідальності.

П'ятий – експертне середовище.

Він містить функціональні компоненти:

набір типових контейнери тематичної систематизації та представлення відібраної інформації;

робочі місця експертів-аналітиків;

формування експертних інформаційних запитів.

Такий модульно-компонентний підхід до організації системи дозволяє побудувати більш гнучку та адаптивну архітектуру цієї системи.

Окремі компоненти, та й модулі у цілому, можуть нарощуватися та автоматизуватися окремо незалежно від загального розвитку системи у цілому. Це є дуже раціональним з точки зору витрачання ресурсів на розвиток системи, а також дозволяє одразу впроваджувати нові технології на окремих її елементах.

## Робота з джерелами геопросторової інформації та введення знайдених даних до системи.

Дуже велике значення для системи має робота з джерелами інформації. Система, яка запропонована, може опрацьовувати інформацію з активних та пасивних джерел. Поняття активні і пасивні джерела є відносними поняттями та використовуються в рамках опису системи трансдисциплінарного інформаційного забезпечення процесу геоінформаційної підтримки та ведення геопросторового аналізу.

Під активними джерелами інформації маються на увазі такі джерела, які створені саме для зазначеної системи, якщо можна сказати є її частиною, та основним їх завданням є надання інформації в систему. Звідси і поняття “активні” тому, що джерела самі надають інформацію.

Ці джерела різняться між собою не за тематичними напрямками і колом питань, по яким надається інформація, а, як правило, за способом її добування або збору та особами і підрозділами, які безпосередньо здійснюють добування та збір інформації. Між аналітичною системою і активними джерелами є чіткий взаємозв'язок. Інформація надається у формалізованому вигляді (шаблонах) або з використанням узгоджених термінів та маркерів (рис. 2).

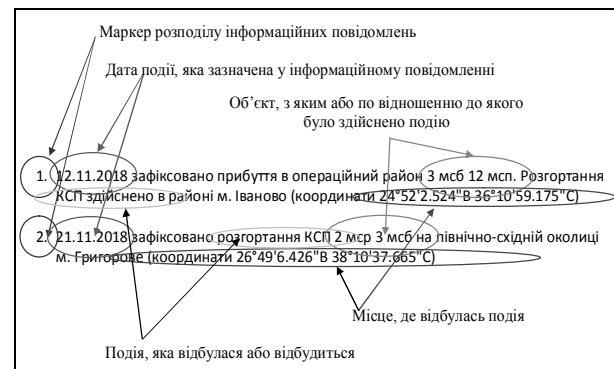


Рис. 2. Формат представлення змісту вхідної інформації із зазначенням обов'язкових атрибутів

У цій ситуації система може у деякій мірі впливати на формат інформації, яку надає джерело.

Причому набір активних джерел для різних аналітичних системи може бути різним. Для військових аналітичних систем активними джерелами будуть інформаційні ресурси підрозділів розвідки та відповідних служб, які накопичують дані по власним силам і засобам. Для аналітичних систем правоохоронних органів, органів екологічної безпеки, комерційних систем власні інформаційні ресурси, які будуть вважатися активними.

Під активними джерелами інформації маються на увазі всі інші джерела, які для конкретної аналітичної системи не є активними. Такі інформаційні ресурси не мають на меті забезпечення аналітичної системи по відношенню до якої вони вважаються пасивними. Ці джерела виробляють, збирають, накопичують або зберігають інформацію відповідно до завдань, запитів та потреб, які не пов'язані з нашою аналітичною системою. Тому на формати надання даних цих інформаційних ресурсів наша система впливати не може.

Однак, аналітична система обов'язково використовує ті пасивні джерела, інформаційні ресурси яких містять дані, які необхідні експертам-аналітикам при дослідженні певних питань. Такі інформаційні ресурси розраховані, як правило, на широке коло різноманітних споживачів. Реалізація їх може бути різною. Від новинних інформаційних ресурсів, де оперативно надаються короткі повідомлення про все, до фундаментальних, де збирається та накопичується спеціалізована інформація з певної тематики. Проблемними залишаються питання пошуку та збору необхідної геопросторової інформації з цих ресурсів та ведення на її основі геопросторового аналізу. Тому при організації пошуку необхідної інформації потрібно чітко уявляти об'єкт пошуку. Текст має певні структурні елементи (рис. 3).

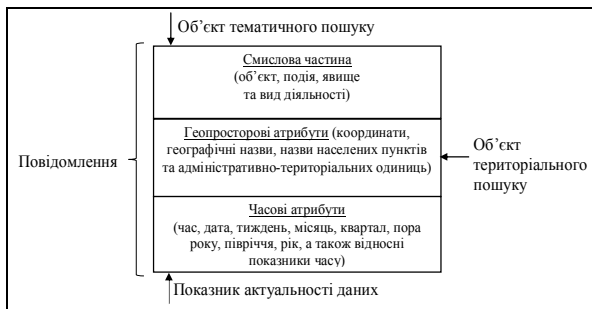


Рис. 3. Структура тексту, у якому здійснюється пошук необхідної інформації

Така структуризація тексту дозволяє більш якісно здійснити пошук потрібної інформації та систематизувати повідомлення, які він містить.

Під повідомленням мається на увазі частина тексту, яка містить єдину за контекстом інформацію стосовно одного факту.

Ні усім інформаційним ресурсам притаманна така структура надання інформації, яка дозволяє чітко виділити повідомлення. Це, як правило, притаманно новинам, довідникам, розвідувальним доносенням та іншим формалізованим ресурсам.

Для забезпечення роботи з інформаційними ресурсами, інформація в яких представлена в неструктурованому (природномовному) виді, застосовується онтологічний підхід. Такий підхід можна застосувати і не при використанні нетекстових матеріалів.

Видова інформація у чистому вигляді дуже складна для автоматичної обробки. Для більш ефективного введення інформації, яка отримана з матеріалів повітряної або космічної зйомки, до системи аналізу створюються тематичні векторні шари з таблицями даних, які описують позначене у цьому шарі, або текстуальний опис добутої (зібраної) інформації з обов'язковим зазначенням координатної або географічної прив'язки корисної інформації.

Для аналітика потрібна інформація, як можна більш ретельніше оброблена. Результатом обробки будь-якого виду (з фізичної точки зору) виду даних є текст, який викладений у будь-якій формі (масив символів, таблиця, скан тексту тощо).

Роботи зі зображенням, відео або звуком потребують від аналітика певних навиків роботи з такими

типами даних, а головне часу на вилучення корисної інформації з цих даних.

Це дуже уповільнює та ускладнює аналітичний процес та потребує зайвих витрат на отримання аналітиком непотрібних йому знань і умінь.

Однак, такі дані, як зображення, відео та звук беззаперечно є більш достовірними ніж їх опис, тому повинні використовуватися в процесі дослідження як додатковий доказовий матеріал.

**Створення формалізованого масиву несистематизованих геопросторових даних.** Кожне джерело та його інформаційні ресурси це власна область знань, яку можуть використати експерти-аналітики, тому використання зазначених вище різних інформаційних ресурсів є трансдисциплінарним.

Для реалізації такого підходу найбільш доцільним є використання ІТ-ТОДОС (Трансдисциплінарні Онтологічні Діалоги Об'єктно-орієнтовних Систем) – в ІТ-платформи формування трансдисциплінарних інформаційних середовищ [6]. Ця платформа забезпечує взаємодію з інформаційними ресурсами за допомогою онтологічного інтерфейсу [7] та трансдисциплінарне представлення геопросторової інформації [8]. Пошук потрібної інформації та систематизація зібраних даних здійснюється за визначеними категоріями. Це значно підвищує ефективність роботи з різномірними інформаційними ресурсами. Категорії це свого роду онтологічні моделі з власними якісними логічними зв'язками. Ці категорії розпізнаються у контексті повідомлення. У системі реалізовано механізм формування категорій, як типовий компонент.

Всі визначені категорії складаються у ієрархічній конструкції, що значно полегшує сприйняття експертом-аналітиком створеного масиву категорій, та забезпечує більш ефективне їх застосування при пошуку потрібної інформації (рис. 4).

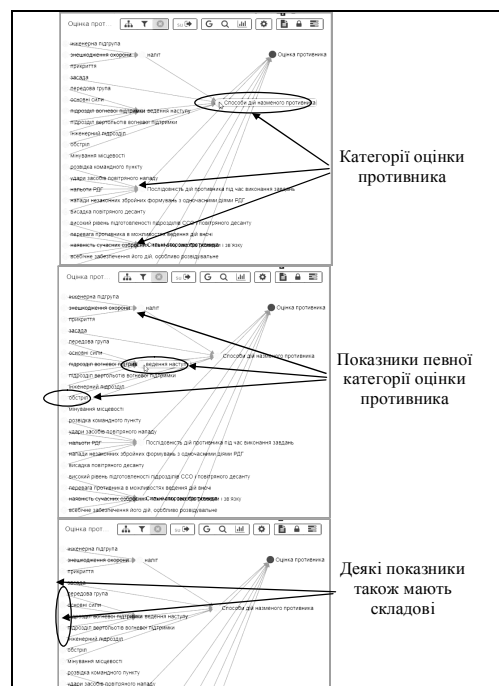


Рис. 4. Таксономічне представлення накопиченої інформації з певної тематики

Фактично експерту-аналітику достатньо визначити перелік категорій, за якими повинен бути здійснений пошук даних в інформаційних ресурсах. Система за визначеними категоріями індексує доступні їй тексти та формує із знайдених повідомлень формалізований масив знань з певної тематики (рис. 5).

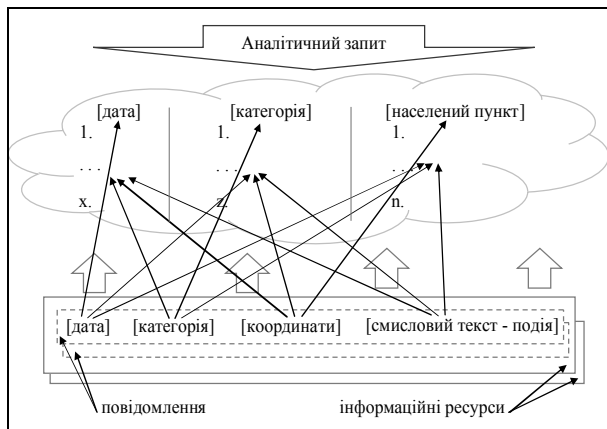


Рис. 5. Формалізований масив несистематизованих зібраних даних

Візуально цей масив може бути представлений у різних форматах: дерево, таблиця, граф, онтологічна призма (рис. 6).

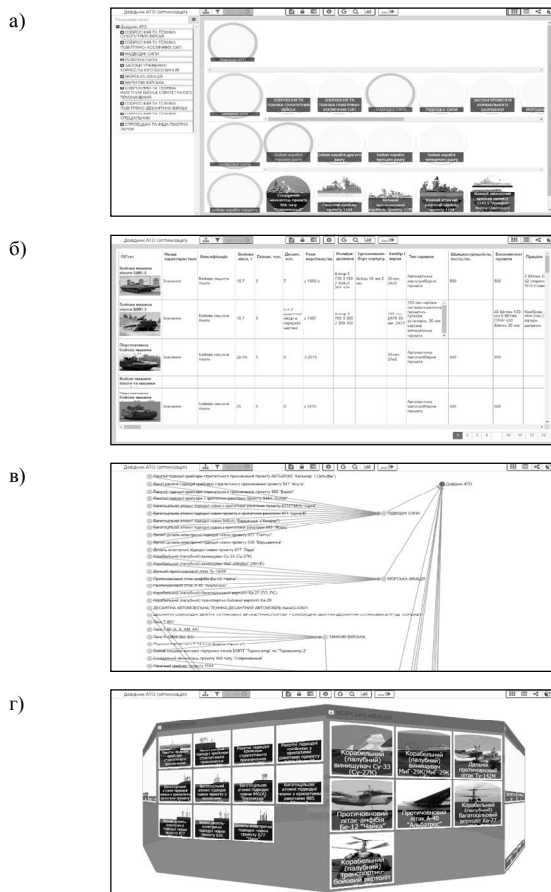


Рис. 6. Формати відображення:  
а – об'єктне (у вигляді дерева папок);  
б – табличне; в – графове; г – онтологічна призма

Категорії можуть застосовані не тільки для пошуку в різних джерелах, а також для роботи з влас-

ними базами даних для пошуку потрібної інформації та представляти знайдену інформацію в сприятливо-му для експерта-аналітика вигляді. Це дозволяє зняти певні обмеження і зобов'язання до структури власних баз даних та форматів відображення у них інформації. Що в свою чергу підвищує адаптивність нашої системи та свідчить про відкритість її архітектури. Фактично формалізований масив несистематизованих зібраних даних це інтеграція даних з різних інформаційних ресурсів, які можуть належить до різних сфер знань [9]. Однак, мета системи інформаційного забезпечення процесів геоінформаційної підтримки та ведення геопросторового аналізу полягає не в створенні бази онтологічних моделей та систематизації накопичених за їх допомогою інформації, а у визначенні, як можна, чіткої геоприв'язки факту проявлення цих моделей та оперативного доведення до експерта-аналітика геопросторової інформації про інформаційний об'єкт або інформаційні повідомлення щодо визначеного геопросторового об'єкту.

**Бази геопросторових даних та пов'язаною з ними інформації.** Бази даних системи містять набори базових і профільних геопросторових даних, а також непросторова інформації яка була введена до системи з інших інформаційних ресурсів за інформаційними запитамі. Базові геопросторові дані – сукупність загальнодоступних стандартизованих геопросторових даних як уніфікованої основи для інтегрування та спільного використання в геоінформаційних системах геопросторових даних [10]. Профільні геопросторові дані – тематичні геопросторові дані, створені з використанням базових геопросторових даних [10]. Непросторові дані, які структуровані за предметними галузями знань або напрямками (питаннями) проведення досліджень та прийняття рішень.

**Геоінформаційна платформа (геопортал).** Основою геоінформаційної платформи є загальні (базові) геоінформаційні ресурси [11], без яких геоінформаційна підтримка неможлива. Кількість цих ресурсів та їх функціонал спочатку можуть бути незначними, але це дозволить уникнути зайвих витрат та більш ефективно розвивати платформу, у подальшому, враховуючі зростання та зміни вимог експертів-аналітиків, а також світові тенденції розвитку геоінформаційних технологій. Система дозволяє проводити територіальний і тематичний аналіз.

При веденні територіального аналізу досліджується конкретна територія (акваторія, простір) та аналізуються всі об'єкти, події та явища, які знаходяться і відбуваються на ній. Опрацьовується вхідна інформація з метою виявлення та хронологічного відслідкування змін, а також аналіз стану об'єктів, опису та аналізу певних видів діяльності, які здійснюються на цій території. При веденні тематичного аналізу досліджується конкретні об'єкти (у тому числі рухомі), події, явища та види діяльності з прив'язкою до території (акваторії, простору) де вони знаходяться, виявляються та відбуваються. За результатами чого здійснюється геопросторовий аналіз поведінки об'єкту дослідження.

У першому випадку, є строго визначений набір (поле) геопросторових даних, які характеризують

територію, яка є об'єктом дослідження. Вся інформація, яка супроводжується будь-якими геопросторовими даним, які попадають у рамки цього набору (поля), є об'єктом інтересу процесу дослідження та аналізу. Тому, завданням у цьому випадку є отримання цієї інформації та переносу її до аналітичного середовища із забезпеченням її геопросторової прив'язки. Ми шукаємо не конкретну інформацію – ми шукаємо та збираємо будь-яку інформацію, яка за геопросторовими атрибутами має відношення до цільового набору (поля) геопросторових даних.

У другому випадку, ми маємо чіткі контекстні атрибути та знаємо що шукаємо, але цілком нашої системи є, після того, як знайдено потрібну змістовну (сміслову) інформацію, визначити її геопросторові атрибути та за їх допомогою прив'язати цю інформацію до певної території (акваторії, простору).

В обох випадках важливу роль відіграють значення часових атрибутів інформації, яка є смисловою. Тому що це дуже впливає на її актуальність:

коли будь-яка інформація на визначеній території;

коли визначена інформація з'являлась на певних територіях.

В обох напрямках використовуються геопросторові дані та непросторова інформація з різних сфер знань, які зберігаються у різноманітних інформаційних ресурсах.

В геопорталі реалізовано механізми інтеграції геопросторової та непросторової інформації на основі процесів географічної прив'язки та геокодування. Це надає змогу повноцінно використовувати інформацію із зовнішніх та внутрішніх баз непросторових даних, які супроводжуються та наповнюються в інших інформаційних ресурсах та експертами-аналітиками у відповідних базах даних нашої системи [12].

Одним з найважливіших принципів, на якому побудована геоінформаційна платформи системи є геовізуалізація.

Цей принцип забезпечує полегшення конструювання знань на основі візуального дослідження та аналізу геопросторових даних та реалізації візуальних інструментів для подальшого пошуку знань, синтезу, зв'язків та використання [13].

Основна відмінність між традиційною картографією та геовізуалізацією полягає в тому, що картографія фокусується на розробці та використанні завершених карт для передачі інформації та суспільного споживання, а геовізуалізація передбачає створення інтерактивних карт і пов'язаних з ними інструментів для дослідження даних, побудови гіпотез і створення нових знань [12].

Геовізуалізація тісно зв'язана з дослідницьким аналізом даних і пошуковим просторовим аналізом даних, які пов'язують статистичні графіки і карти та спираються на вміння експерта-аналітика взаємодіяти з даними, візуально виявляти закономірності і формулювати гіпотези/моделі [12]. Геовізуалізація залучає дані з різних сфер знань, що свідчить про використання трансдисциплінарного підходу при геовідображенні інформації (рис. 7).

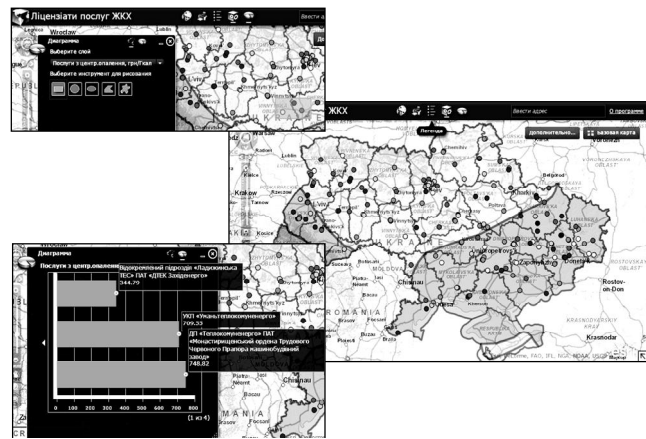


Рис. 7. Приклад інтерактивної карти інформаційного забезпечення геопросторового аналізу [14]

**Експертне середовище** являє собою сукупність інтегрованих інформаційних ресурсів [9, 15, 16] та визначених над ними засобів трансдисциплінарного аналізу, на основі використання яких експерти-аналітики проводять дослідження визначених їм питань та розробляють за їх результатами проекти відповідних рішень. В залежності від складності та рівня питань експерти можуть об'єднуватися у групи.

Під кожного експерта-аналітика або відповідну груп систему дозволяє побудувати аналітичне середовище. Це середовище будується на основі типових контейнерів тематичної систематизації та представлення відібраної інформації.

Контейнери містять таксономічні об'єкти, які визначають гіпервластивість упорядкованості інформації, що аналізується. Неформально таксономічний об'єкт (ТО) визначається як сукупність тематичних понять, які зв'язані між собою суворим бінарним порядком [9, 17-19]. ТО дозволяє визначити правила структуризації інформаційних ресурсів та подальшого пошуку певних тематичних описів на основі процедур системологічного представлення властивостей об'єктів та процесів, які описуються в інтегрованих інформаційних ресурсах. Вказані таксономічні об'єкти забезпечують системологічне опрацювання конкретного питання, дослідження якого здійснюється в рамках ведення геопросторового аналізу. Реалізація геоінформаційної підтримки процесу підготовки та прийняття рішення за рахунок включення до таксономічного об'єкту геопросторової атрибутики. Фізично це набір відповідних категорій, за якими здійснюється пошук необхідної інформації, і шаблонів її введення та форм представлення відібраних даних для подальшого їх використання. Такий підхід дозволяє доволі швидко забезпечити мінімально достатнім для експерта-аналітика інструментарієм. Причому, залежно від тематичного напрямку питання, яке досліджує експерт, та рівня аналітичного середовища (рис. 8), на якому він знаходиться, набір типових контейнерів буде різним. Це дозволяє не завантажувати експертів зайвою інформацією та функціоналом. Чим вище рівень аналітичного середовища, тим менша кількість експертів. Результат роботи експертів нижчого рівня є вхідними даними для експертів вищого рівня.

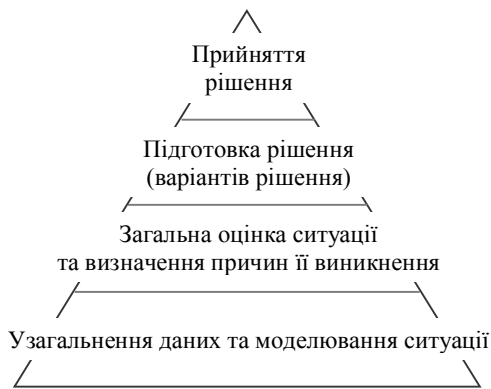


Рис. 8. Багаторівневе аналітичне середовище

Система дозволяє побудувати багатовекторне аналітичне середовище використовуючи одні й ті ж базові рівні аналітичного середовища (рис. 9).



Рис. 9. Багатовекторне аналітичне середовище

Через адаптоване аналітичне середовище експерт може впливати на отримання потрібної йому інформації, визначаючи певні категорії, за якими

здійснюється пошук даних в різномірних інформаційних ресурсах.

Основним елементом “робочим столом” спеціаліста з ведення геопросторового аналізу є гемінформаційна платформа до якої надаються усі данні в рамках трансдисциплінарного інформаційного забезпечення його досліджень.

### Висновки і напрямки подальших досліджень

Запропонована система інформаційного забезпечення процесів геоінформаційної підтримки та ведення геопросторового аналізу дозволяє оперативно здійснити пошук та надання потрібної експерт-аналітику інформації. При цьому система здатна використовувати інформацію як з власних баз даних так і з різномірних зовнішніх інформаційних ресурсів. Система може навчатися. Чим більше буде реалізовуватися пошуків різної тематичної інформації, тим більше онтологічних моделей буде накопичено у понятійній базі системи. Це у подальшому забезпечить ще швидший та точніший пошук потрібної інформації.

Архітектура системи побудована таким чином, що експерт-аналітик може адаптувати її під себе залежно від питання, яке він досліджує, та способів, які він при цьому використовує. При чому, інформація яка поступає до системи акцентується за відповідними запитамі або колом питань певного експерта-аналітика.

Компоненти системи можуть розвиватися незалежно від системи, що забезпечує постійну модернізацію системи у цілому не перериваючи її функціонування.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Митчелл Енди. Руководство по ГИС анализу. Часть 1: Пространственные модели и взаимосвязи / Энди Митчелл; пер. с англ. — К., ЗАО ЕСОММ Со; Стилос, 2000. — 198 с.
2. Іщук О. О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навч. посібник / О. О. Іщук, М. М. Коржнев, О. Е. Кошляков; за ред. акад. Д. М. Гродзинського. — К.: Вид.-поліграфічний центр "Київський університет", 2003. — 200 с.
3. Шипулін В. Д. Основи ГІС-аналізу: навч. посібник / В. Д. Шипулін // Харк. нац.ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. — Х.: ХНУМГ, 2014. — 330 с.
4. “Воєнна розвідка. Геопросторова розвідка. Терміни та визначення”, Військовий стандарт 01.101.007 Видання 1, ВСТ 01.101.007-2017(01).
5. Шипулін В. Д. Посібник знавчання роботі з кадастрово-реєстраційною системою: Посібник. — К.: Вид.-ТОВ “Географіка”, 2011. — 440 с.
6. Величко В.Ю. ТОДОС – ІТ-платформа формування трансдисциплінарних інформаційних середовищ / В.Ю. Величко, М.А. Попова, В.В. Приходнюк, О.Є. Стрижак // Системи озброєння і військова техніка. — 2017. — № 1(49). — С. 10–19.
7. Попова М. А., Стрижак О. Є. Онтологічний інтерфейс як засіб представлення інформаційних ресурсів в ГІС-середовищі. Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского, Серия: География, 2013. — №. 26 (65). — С. 127–135.
8. Stryzhak O., Prychodniuk V., Podlipaiev V. (2019) Model of Transdisciplinary Representation of GEOspatial Information. In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) Advances in Information and Communication Technologies. UKRMICO 2018. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 560. Springer, Cham — P.34–72.
9. Стрижак О. Є. Трансдисциплінарна інтеграція інформаційних ресурсів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.06 / Стрижак Олександр Євгенійович; Нац. акад. наук України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. Київ, 2014. — 47 с.
10. Проект закону України “Про національну інфраструктуру геопросторових даних”.
11. В. О. Подліпаєв, Базовий набір типових геоінформаційних ресурсів для здійснення геоінформаційної підтримки та ведення геопросторового аналізу, “системи управління, навігації та зв’язку” – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2019. – Вип. 2 (54). — С. 12–37.
12. Путренко В. В., Системні основи інтелектуального аналізу геопросторових даних // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2015. — № 3. — С. 20–33.

13. Guo D., Gahegan M., MacEachren A.M., Zhou B. Multivariate analysis and geovisualization with an integrated geographic knowledge discovery approach // *Cartography and Geographic Information Science*. — P. 113–132.
14. Приходнюк В. В., Технологічні засоби трансдисциплінарного представлення геопросторової інформації: автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.13.06 / Приходнюк Віталій Валерійович; Нац. акад. наук України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. Київ, 2017. — 20 с.
15. Стрижак А. Е. Онтологические аспекты трансдисциплинарной интеграции информационных ресурсов / А. Е. Стрижак // *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*, 2014. — № 65. — С. 211–223.
16. Горбуров В.В. Використання онтологій у системах підтримки прийняття рішень / В.В. Горбуров, О. Є. Стрижак, О.В. Франчук – Математичне моделювання в економіці: Зб. наук. праць // НАН України Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору, Ін-т економіки та прогнозування, Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова; редкол.: С.О. Довгий (голов. ред.) [та ін.]. — К., 2013. — Вип. 3. — С. 33–40.
17. Малишевский А. В. Качественные модели в теории сложных систем. — М.: Наука. Физматлит. 1998. — 528 с.
18. Клини С. К. Введение в метаматематику / С. К. Клини. — М.: Иностранная литература, 1957. — 526 с.
19. Приходнюк В.В. Таксономизация естественно-языковых текстов / Приходнюк В. // *International Journal «Information Models and Analyses»*, 2016. — Volume 5. — Number 3. — С. 270–284.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г. В. Худов,

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. гкожедуба, Харків

Received (Надійшла) 31.03.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2019

### Концепция построения системы трансдисциплинарного информационного обеспечения геопространственного анализа с компонентной архитектурой

В. А. Подлипаев

**Предметом** изучения в статье является концепция построения системы трансдисциплинарного информационного обеспечения геопространственного анализа с компонентной архитектурой. **Целью** является разработка концепции построения системы трансдисциплинарного информационного обеспечения геопространственного анализа с компонентной архитектурой. **Задачи:** рассмотреть общее описание системы информационной поддержки геопространственного анализа, работу с источниками геопространственной информации и введение найденных данных в систему, создание формализованного массива несистематизированных геопространственных данных, базы геопространственных данных и связанной с ними информации, геоинформационной платформы, экспертной среда. Используемыми **методами** являются: методы анализа и синтеза сложных информационных систем, методы системного анализа, методы имитационно-статистического моделирования. Получены следующие **результаты**. Установлено, что геопространственный анализ является процессом определения пространственных, структурно-функциональных и других взаимосвязей между геопространственными объектами для уточнения, изменения или получения качественно новой разведывательной информации. Предложенная система будет иметь компонентную архитектуру и каждый эксперт-аналитик может из типичных компонентов системы создать собственную аналитическую среду. Согласно созданной аналитической среды будет организован поиск и сбор нужной информации, а также доведение до эксперта-аналитика именно той информации, которая относится к его компетенции. **Выводы.** Предложенная система информационного обеспечения процессов геоинформационной поддержки и ведения геопространственного анализа позволяет оперативно осуществить поиск и предоставление нужной эксперту-аналитику информации. При этом система способна использовать информацию, как из собственных баз данных, так и из разнородных внешних информационных ресурсов.

**Ключевые слова:** геопространственный анализ, геопространственный объект, трансдисциплинарный подход, онтологический подход, информационный ресурс, информационная поддержка, эксперт-аналитик.

### The concept of building a system for transdisciplinary information support of geospatial analysis with a component architecture

V. Podlipaev

The **subject matter** of the article is the concept of building a system of transdisciplinary information support for geospatial analysis with component architecture. The **goal** is to develop a concept for building a transdisciplinary information system for geospatial analysis with component architecture. The **tasks** are: to consider a general description of the information support system for geospatial analysis, work with geospatial information sources and the introduction of the found data into the system, the creation of a formalized array of unsystematic geospatial data, a geospatial database and related information, a geoinformation platform, an expert environment. The **methods** used are: methods of analysis and synthesis of complex information systems, methods of system analysis, methods of simulation and statistical modeling. The following results were obtained. It is established that geospatial analysis is the process of determining spatial, structural-functional, and other relationships between geospatial objects to clarify, modify, or obtain qualitatively new intelligence information. The proposed system will have a component architecture and each expert analyst can create his own analytical environment from typical system components. According to the created analytical environment, the search and collection of the necessary information will be organized, as well as bringing to the expert analyst exactly the information that falls within its competence. **Conclusions.** The proposed system of information support of the processes of geoinformation support and geospatial analysis allows you to quickly search and provide the necessary information to the expert analyst. In this case, the system is able to use information from both its own databases and from heterogeneous external information resources.

**Keywords:** geospatial analysis, geospatial object, transdisciplinary approach, ontological approach, information resource, information support, expert-analyst.



А. А. Проценко, В. Г. Іванов

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

## КЛАСИЧНІ МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ ШЛЯХУ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ

Мобільні автономні роботи (МАР) використовуються для виконання великої кількості різноманітних завдань у різних галузях, таких як видобуток корисних копалин, пошук та порятунків, військових застосувань тощо. Окремо виділяється категорія МАР, які використовуються у закритих приміщеннях. Це пов'язано з додатковими технічними та програмними обмеженнями які накладаються на МАР та оператора. У цій статті розглядаються 35 класичних методів пошуку шляху для МАР та методів їх оптимізації. Класичні методи включають наступні категорії методів: методи клітинної декомпозиції; методи штучного потенційного поля; вибіркові методи; методи, що використовують мережу проміжних задач. У статті також розглядаються основні проблеми, що виникають під час виконання задачі пошуку шляхів. Методи аналізувалися за такими характеристиками: обмеження; режим планування; мнтрика, яка використовується для планування наступного кроку. Також у статті розглядаються основні проблеми з якими стикаються під час виконання задачі пошуку шляху.

**Ключові слова:** МАР, роботи, автономність, пошук шляху, планування руху.

### Вступ

Робота людини у тунелях, шахтах та інших підземних просторах завжди пов'язана з великою кількістю ризиків для життя людини [1]. Використання МАР допомагає зменшити ці ризики, за рахунок попередження про них [2], або зменшити наслідків подій, які випливають з цих ризиків [3]. Проблема переміщення роботів з точки  $A$  у точку  $B$  є базовою проблемою яка стосується усіх роботів, але під час використання у підземних структурах вирішення цієї проблеми ускладнено наявністю додаткових факторів, таких як відсутність зв'язку з оператором та неможливість використання систем GPS.

У цій роботі розглядаються існуючі класичні методи планування шляху для МАР. Класичні методи знаходять рішення проблеми пошуку шляху, або доводять що, його не існує, без знаходження компромісу між якістю шляху та кількістю часу/ресурсів потрібних на його знаходження. Не дивлячись на це, класичні методи є популярним для виконання реальних задач пошуку шляху, та використовуються як основа для більш розвинутих методів.

**Метою даної роботи** є аналіз існуючих класичних методів планування шляху для визначення доцільності їх використання у закритих приміщеннях.

### Виклад основного матеріалу

До класичних відносяться такі методи:

- методи клітинної декомпозиції;
- методи штучного потенційного поля;
- вибіркові методи;
- методи, які використовують мережу проміжних задач.

У більшості методів пошуку шляху використовуються наступні поняття: світовий простір, конфігураційний простір ( $C_{space}$ ) та вільний простір ( $C_{free}$ ). Світовий простір відноситься до фізичного простору, в якому існують роботи та перешкоди. Конфігурація об'єкта заданої форми є сукупністю незалежних параметрів, що характеризує положення кожної точки в об'єкті. Кількість параметрів, що визначають конфігурацію об'єкта, називається ступенями свободи об'є-

кта. Набір всіх конфігурацій називається конфігураційним простором. Вільний простір відноситься до частин світового простору, не зайнятих перешкодами. або частини простору  $C_{space}$ , у яких робот не стикається з жодною перешкодою [4]. Загальна задача пошуку шляху передбачає знаходження неперервного шляху роботу через простір  $C_{free}$ .

### Методи клітинної декомпозиції

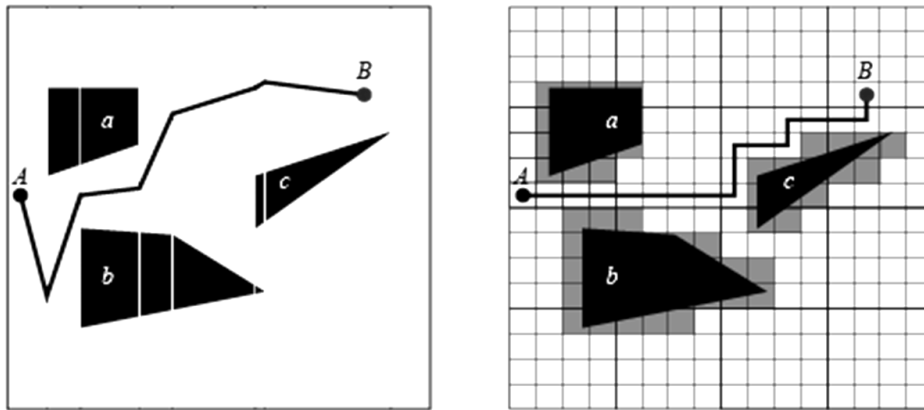
Клітинна декомпозиція базується на принципі розподілу простору  $C_{space}$  на клітини: ділянки простору з спільними перегородками. Клітини розділяються на вільні та зайняті, на яких відмічаються опорні точки для формування графу, на якому вирішується задача комівояжера. Первинним кроком цих алгоритмів є розбиття вільного конфігураційного простору  $C_{free}$  на набір пустих опуклих ділянок  $K_{void}$ . Методи клітинної декомпозиції розділені на три категорії: точні, наближені та імовірнісні (рис. 1).

### Точна декомпозиція

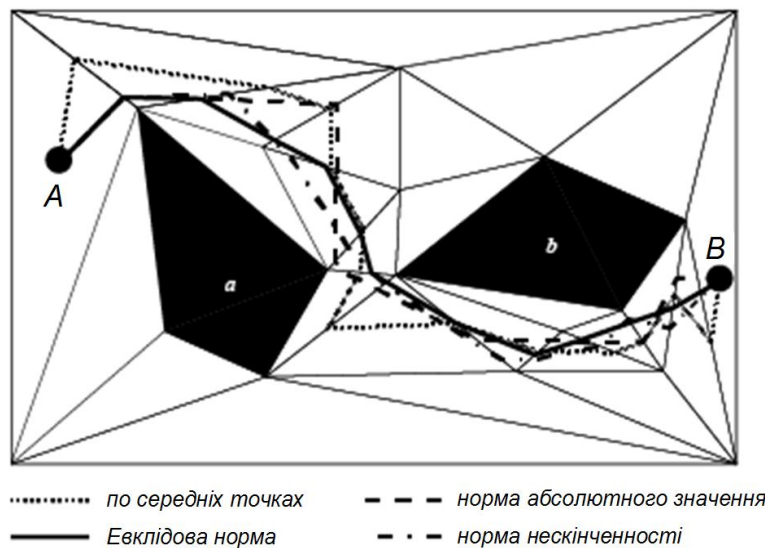
У точних методах набір ділянок  $K_{void}$  точно співпадає з вільним конфігураційним простором робота, тобто  $K_{void} = C_{free}$ . Найвідомішим методом точної декомпозиції є запропонований Latombe метод трапеціоїдної декомпозиції [5], на якому базуються розроблений Choset метод декомпозиції бустирефедоном [6] та запропонований Atkar метод декомпозиції Морса [7]. Також існують методи оптимізації точного підходу за рахунок використання різних метрик ([8], рис. 2) та оптимізації шляху за рахунок використання покриваючого графу [9], які допомагають збільшити ефективність даного підходу.

### Наближена декомпозиція

Для наближених методів  $K_{void}$  є обмеженим наближенням вільного конфігураційного простору, тобто  $K_{void} \in C_{free}$ . Клітини у цьому підході відрізняються від клітин у точному підході тим, що клітини тепер повинні мати просту форму, наприклад, прямокутну. Обґрунтування стандартизації форми клітин полягає в досягненні розбиття простору через повторення тих ж самих простих обчислень [5].



**Рис. 1.** Різниця між точною (зліва) та наближеною (справа) декомпозицією.  
Умовні позначення:  $A$  – початок шляху,  $B$  – пункт призначення,  $a, b, c$  – перешкоди



**Рис. 2.** Різниця між шляхом отриманим за допомогою різних метрик (адаптовано з [8]).  
Умовні позначення:  $A$  – початок шляху,  $B$  – пункт призначення,  $a, b$  – перешкоди

Популярними категоріями наближених методів є методи, які базуються на приблизній прямокутній декомпозиції [10, 11], та методи, які базуються на запропонованому Noborio [12] використанні дерева квадрантів [13, 14]. На основі наближених методів легко побудувати адаптивні методи декомпозиції [15], які можна використовувати за умови відсутності повної мапи на момент початку руху. Процес формування клітин показано на рис. 3, а. Оточуюче середовище сканується за допомогою лазерного далекоміру. За результатами сканування у радіусі зчитування  $r$  формується клітина  $C_k$ . Межі цієї клітини являють собою межі діапазону чутливості, при яких лінія сканування не зустрічається з будь-яким іншим об'єктом під час переміщення по всій області чутливості. На рис. 3, б вибірка робочого простору має з більше ознак, такі як лінії і криві. Інформація про клітину отримується легко при зустрічі лінії сканування з будь-якою з цих ознак.

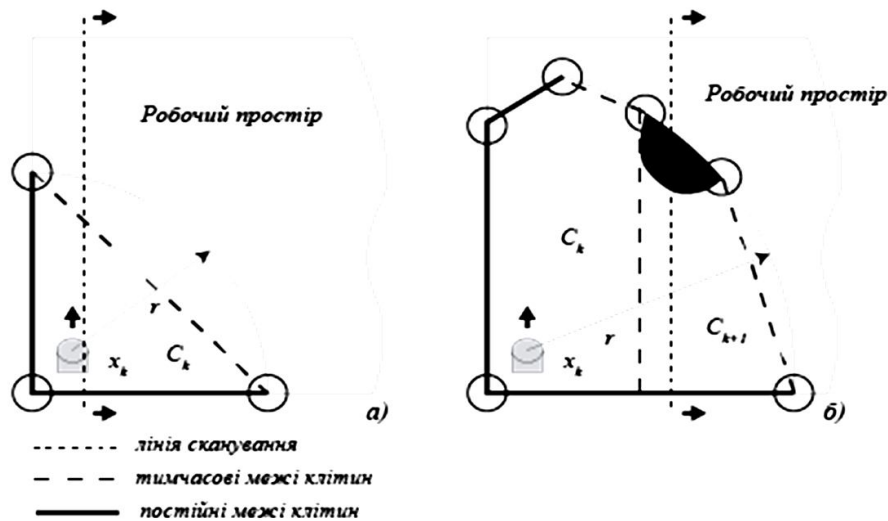
### Імовірнісна декомпозиція

Імовірнісні методи базуються на наближених, тобто всі клітини мають заздалегідь визначену форму, а межі клітин не обов'язково мають фізичне зна-

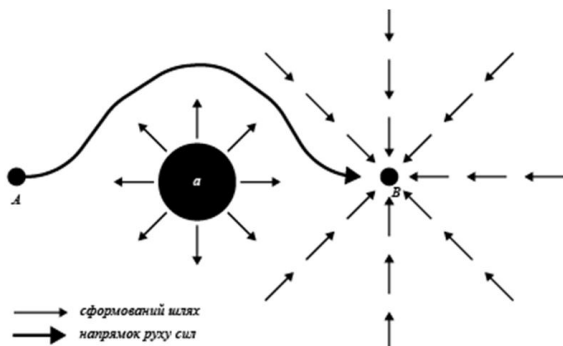
чення. Основною різницею є те, що у імовірнісних методах клітина не перевіряється, але вважається вільною, доки це не буде спростовано. Клітина називається можливо вільною, якщо всі перевірки зіткнень зразків у цій клітині мають негативний результат. Відповідно, вона називається можливо зайнятою, якщо всі перевірки є позитивними. Якщо клітина має одночасно негативний і позитивний результат, вона називається змішаною і повинна бути розбита на можливо вільні та можливо зайняті клітини [16]. Запропонований Rosell [17] комбінований метод використовує гармонічні функції для планування шляху конфігураційному просторі великих масштабів.

### Методи штучного потенційного поля

Метод штучного потенційного поля розроблений Khatib [18] для маніпуляторів та мобільних роботів. У цьому методі вважається, що робот рухається в абстрактному штучному силовому полі (рис. 4). Це поле складається з відштовхуючого потенційного поля, яке створюють перешкоди, та притягального потенційного поля, яке створює кінцева точка шляху.



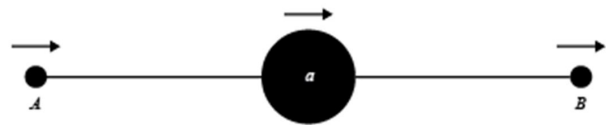
**Рис. 3.** Формування клітин при адаптивній декомпозиції (адаптовано з [15]).  
Умовні позначення:  $x_k$  – положення роботу,  $r$  – радіус зчитування,  $C_k, C_{k+1}$  – клітини



**Рис. 4.** Формування шляху мобільного роботу через абстрактне штучне потенційне поле.  
Умовні позначення:  $A$  – положення роботу,  $B$  – пункт призначення,  $a$  – перешкода

Головною перевагою методу штучного потенційного поля є простота у виконанні, а серед недоліків виділяється незручність застосування для динамічних середовищ та існування локальних мінімумів потенціалів, що може привести до неможливості досягання кінцевої точки. Обидві проблеми були адресовані Ge та Сui ([19], рис. 5), які запропонували метод, у якому потенційні функції враховують не тільки відносно положення робота щодо цілі та перешкод, але й також відносні швидкості робота щодо цілі та перешкод. Відповідно, віртуальна сила визначається як негативний градієнт потенціалу стосовно як положення, так і швидкості. Вирішення проблеми локального мінімуму виконується наступним чином: коли робот виявляє, що він і кінцева точка є у межах впливу перешкоди, а кінцева точка знаходиться між роботом і кінцевою точкою, потенціал відштовхуючого потенційного поля вважається за 0, тобто на робота діє тільки притягальне поле.

Альтернативне вирішення проблеми локальних мінімумів через створення тимчасових локальних цілей запропоноване у [20]. Комбінування методу потенційного поля з штучним інтелектом дозволяє створювати нові, більш ефективні методи планування шляху, такі як запропонований Vadakkerat метод еволюційного штучного потенційного поля [21].



**Рис. 5.** Проблема локального мінімуму (адаптовано з [19]).  
Умовні позначення:  $A$  – положення роботу,  $B$  – пункт призначення,  $a$  – перешкода

У цьому методі, еволюційний алгоритм використовується для оптимізації потенційних функцій поля перешкод. Це допомагає створити більш гладкий та оптимальний шлях, порівняно з традиційним методом. Jaradat у [22] запропонував новий підхід розроблений з використанням експертної системи на основі нечіткої логіки. Притягальні та відштовхуючі сили представлені за допомогою експертних if-then правил. Перевага цього підходу виявляється у можливості забезпечити безперешкодний шлях для робота та рішення проблеми локального мінімуму у будь-якому стаціонарному та динамічному середовищі в порівнянні з іншими методами. Методи штучного потенційного поля придатні для використання з мультиагентними системами [22–24].

### Вибіркові методи

Вибіркові методи унікальні в тому, що планування відбувається шляхом вибірки конфігурацій простору. Методи на основі вибірки не гарантують знаходження рішення, якщо таке існує, тобто вони не надають повноти. Натомість, вони забезпечують більш слабку уявлення про повноту – імовірнісну повноту. Рішення буде надано, якщо воно існує, за умови достатнього часу виконання алгоритму (в деяких випадках можливий нескінченний час виконання) [25]. Latombe у [26] запропонував новітній алгоритм пошуку шляху який базувався на випадковій вибірці комбінований з методом штучних потенційних полів. Даний метод обчислює чисельні потенційні поля в конфігураційному просторі, які мають дуже мало або незначні локальні мінімуми, з яких робот може врятуватися за допомогою двох

типів алгоритмів, перший з яких базувався на пошуку грубою силою, другий – на методі Монте-Карло. Основними напрямком вибірових методів є методи на основі дорожніх карт та швидко-досліджуючих випадкових дерев. Також можна відзначити методи на основі клубку Аріадни [27] та експансивних просторових дерев [28].

### Дорожня карта

Дорожня карта - це неорієнтований граф  $R = (N; E)$ . Вузли в  $N$  - це набір конфігурацій робота, який правильно вибрано у  $C_{free}$ . Ребра в  $E$  відповідають простому шляху; ребро між двома вузлами відповідає можливому шляху, який з'єднується з відповідною конфігурацією. У 1985 році були запропоновані методи планування шляху які використовували графи видимості [29] та діаграми Вороного [30]. У 1996 році декілька авторів запропонували принципово новий метод планування шляху під назвою імовірна дорожня карта [31, 32]. Незважаючи на те, що підходи мають принципові відмінності, загальний алгоритм дуже схожий та складається з двох фаз. На початку фази навчання, або попередньої обробки, для поточної сцени імовірно будується структура даних під назвою дорожня карта. На етапі запиту, дорожня карта використовується для вирішення окремих завдань планування шляху у вхідній сцені. Використовуючи початкову конфігурацію  $q_{init}$  та кінцеву конфігурацію  $q_{goal}$ , цей метод спочатку намагається під'єднати  $q_{init}$  та  $q_{goal}$  до деяких вузлів  $q'_{init}$  та  $q'_{goal}$  у  $N$ . Якщо цей крок виконано успішно, то алгоритм шукає  $R$  на рахунок послідовності ребер у  $E$  які з'єднують  $q'_{init}$  та  $q'_{goal}$ . Нарешті, алгоритм перетворює цю послідовність на можливий шлях для робота, перекомпілюючи відповідні локальні шляхи та об'єднуючи їх [33]. Методи на основі імовірнісних дорожніх карт зазвичай класифікуються залежно від того, чи підтримують вони багато запитів, чи тільки один.

Побудова карти для мульти-запитних методів дуже трудомісткий процес, однак після його завершення цю дорожню карту можна багато разів запитувати, щоб шукати траєкторії з будь-якою парою конфігурацій початку/цілі [34]. Реалізації алгоритму для команд роботів представлено у [34 – 36]. Головними проблемами алгоритму на основі дорожніх карт є трудомісткість процесу пошуку локальних шляхів та наявність вузьких проходів у вільному конфігураційному просторі. Для вирішення першої проблеми Bohlin та Kavrakі розробили оптимізований алгоритм під назвою Lazy PRM [37], у якому замість побудови карти можливих шляхів будується карта шляхів, можливість яких тільки передбачається.

У [38] запропоновано використання різних типів процесу вибору вузлів, за допомогою нової стратегії Гауссовської вибірки, що значно знижує кількість необхідних зразків, а у [39] використовується послідовність Хальтона для кращого представлення мобільного середовища робота. Для вирішення другої проблеми використовуються методи на разок методу випробування моста [40], що підвищує щільність зразків всередині вузьких проходів.

### Швидко-досліджуючі випадкові дерева

Швидко-досліджуючі випадкові дерева (RRT) – це ефективна структура даних та схема вибірки для швидкого пошуку у просторах великого розміру, які мають як алгебраїчні обмеження (що виникають з перешкод), так і диференційні обмеження (що виникають з неголономності та динаміки). Ключова ідея полягає в тому, щоб зміщувати дослідження в напрямку недосліджених ділянок простору. Для початкової конфігурації  $q_{init}$  дерево з  $K$  вершинами будується у  $K-1$  кроків, на кожному з яких спочатку обирається випадкова конфігурація  $q_{rand}$ . Після вибору  $q_{rand}$  алгоритм шукає найближчу до нього вершину  $q_{near}$ , та створює ребро між цими двома вершинами, після чого обирається наступна  $q_{rand}$  (рис. 6). Цей підхід був розроблений LaValle ([41], рис. 7), який пізніше запропонував його вдосконалений варіант [42].

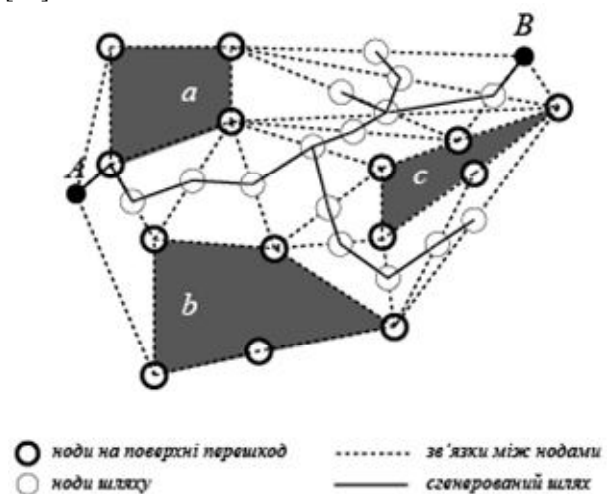


Рис. 6. Отримання шляху для мобільного робота методом, представленим у [33].

Умовні позначення:  $A$  – початок шляху,  $B$  – пункт призначення,  $a, b, c$  – перешкоди

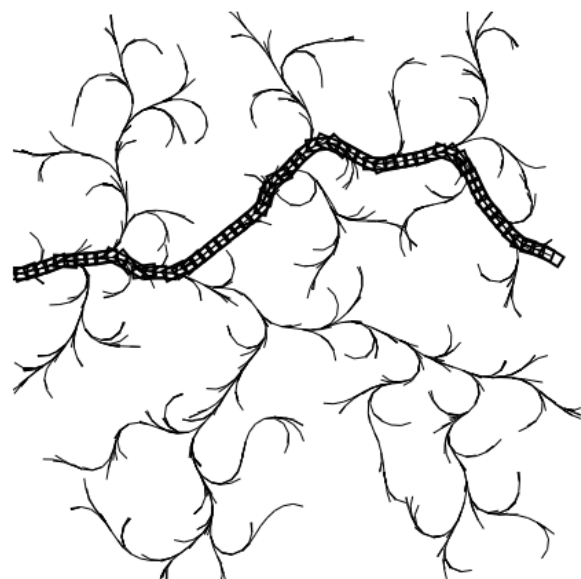


Рис. 7. Швидко-досліджуюче випадкове дерево [41].

Додатково виділено обраний шлях з спроектованими конфігураціями робота

Urmson та Simmons [43] розробили поліпшені варіанти алгоритму за рахунок урахування вартості шляху. Для боротьби з втратою шляху на вузьких ділянках простору, запропоновано алгоритми, який використовують локальні дерева [44], урахування інформації про форму навколишніх перешкод [45], або за рахунок використання двонаправленого алгоритму [42, 46]. Karaman та Frazzoli запропонували нову версію алгоритму під назвою RRT\* [47], асимптотично-оптимальну та обчислювально-ефективну версію RRT. Оптимізовані варіанти RRT\* представлені у [48, 49]. Ці алгоритми дають швидші результати за рахунок використання поінформованого поступового пошуку [48] та обмеження пам'яті для зберігання дерева [49].

### Мережі проміжних цілей (subgoal network)

Мережі проміжних цілей – це широка категорія різноманітних методів, які перетворюють задачу пошуку основної цілі на задачу пошуку низки шту-

чно створених проміжних цілей. Алгоритм для пошуку має наступний вигляд: замість пошуку шляху з стартової конфігурації  $q_{init}$  до потрібної конфігурації  $q_{goal}$ , шукається деяке число проміжних конфігурацій  $q_{subgoal}$ , після переходу роботу до  $q_{subgoal}$ , ця конфігурація приймається за  $q_{init}$  і процес повторюється. Однією з перших робіт, які використовували даний принцип є робота Favejon та Tougnassoud [50], у якій розглядається створення проміжних, локальних конфігурацій робота.

Glavina представив рішення проблеми пошуку шляху за допомогою рандомізованої генерації проміжних цілей ([51], рис. 8). Chen та Hwang запропонували нову стратегію під назвою SANDROS [52], у якому проміжні цілі являють собою частини конфігураційного простору, які мають відносно великі відстані до перешкод і, отже, відповідають конфігураціям, які робот може легко досягти за допомогою місцевого планування.

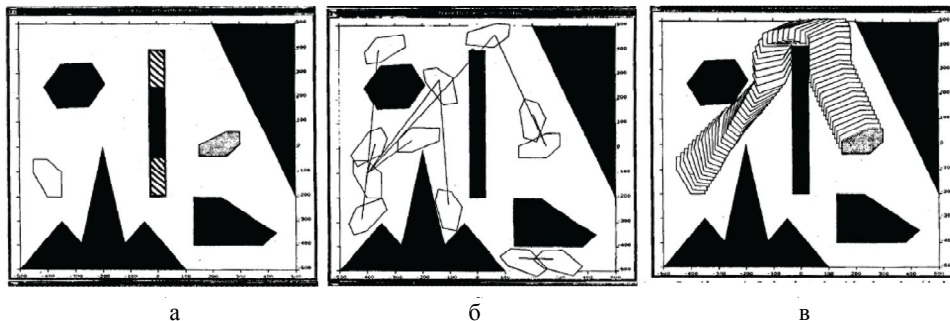


Рис. 8. Отримання шляху для мобільного робота методом, представленим у [51]: а – стан роботу на перед початком роботи та кінцева конфігурація, б – створення проміжних конфігурацій та поєднання їх у граф, в – знайдений шлях від початку до мети

Термін «subgoal network» як назва окремої категорії методів планування шляху разом з формальним описом був приведений у [53].

Проблема створення проміжних цілей є проблемою глобального планування, а отже, окрім запропонованого випадкової генерації [52], може вирішуватись за допомогою інших методів планування шляху. Baginski та M. Eldracher розробили алгоритм, який використовує штучну нейронну мережу для пошуку проміжних цілей [53], у [54] представлено генератор проміжних цілей, що використовує штучні потенційні поля, а у [55] – генератор, який базується на RRT.

У методі ієрархічного планування руху [56], який застосовується для людиноподібних роботів, пошук проміжних цілей виконується шляхом проектування корпусу робота в потрібних конфігураціях на двовимірну карту, з подальшим вибором оптимальної проекції.

Запропонований у [57] метод використовує систему комп'ютерного зору для пошуку проміжних цілей.

Після необхідної обробки отриманого зображення, алгоритм використовує метод крутого спуску для пошуку найкоротшого шляху, на якому у свою чергу шукається точка, яка буде використовуватися як проміжна ціль.

### Висновки

У цій роботі проаналізовано 35 різних методів пошуку шляху для мобільного робота. Методи аналізувалися за наступними характеристиками: обмеження; режим планування; метрика, що використовується для планування наступного кроку. Характеристики класичних методів, які було представлено у цій статті показано у табл. 1.

Обмеження на систему для якої може застосовуватись метод, бувають голономними або неголономними. Голономні обмеження можуть застосовуватися до систем, де рух описується лише через координати та час, без прийому до уваги швидкостей та прискорень, що робить їх ідеальними для теоретичних розрахунків. Хоча такі системи існують, більшість існуючих MAP використовують ці показники та є неголономними. Переважна кількість оглянутих методів (25 з 35) розроблялася беручи до умови голономні обмеження, що означає що у багатьох випадках застосування цих методів для не-голономних систем потребує використання додаткової оптимізації. Режим планування показує, чи може даний метод проводити планування під час руху (онлайн), чи до початку руху (офлайн). Навіть методи, що знаходяться у однаковій категорії можуть суттєво відрізнятися залежно від того, для якого режиму вони розроблялися.

Таблиця 1 – Характеристичні особливості класичних методів пошуку шляху

Метод	Категорія	Обмеження	Режим планування	Метрика
Vertical cellular decomposition [5]	Клітинна декомпозиція	Голономні	Офлайн	Евклідова
Boustrophedon cellular decomposition [6]	Клітинна декомпозиція	Неголономні	Офлайн	Евклідова
Morse decomposition [7]	Клітинна декомпозиція	Голономні	Онлайн	Евклідова
Exhaustive path planning with exact cell decomposition [9]	Клітинна декомпозиція	Неголономні	Офлайн	Кумулятивна Евклідова
Approximate cell decomposition [10]	Клітинна декомпозиція	Голономні	Офлайн	A*
Sensor path planning with approximate cell decomposition [11]	Клітинна декомпозиція	Неголономні	Онлайн	Залежно від цілі
Quadtree-based decomposition [12]	Клітинна декомпозиція	Голономні	Онлайн	Евклідова
Framed-quadtree decomposition [13]	Клітинна декомпозиція	Неголономні	Офлайн	D*
K-Framed quadtrees decomposition [14]	Клітинна декомпозиція	Неголономні	Офлайн	A*
Adaptive decomposition [15]	Клітинна декомпозиція	Голономні	Онлайн	Евклідова + Вартість
Probabilistic cell decomposition [16]	Клітинна декомпозиція	Неголономні	Офлайн	Евклідова
Probabilistic cell decomposition with harmonic functions [17]	Клітинна декомпозиція	Голономні	Офлайн	Відстань + Значення гармонічних функцій
Artificial potential field method [18]	Штучне потенційне поле	Голономні	Онлайн	Евклідова + Швидкість
Dynamic artificial potential field method [19]	Штучне потенційне поле	Голономні	Онлайн	Евклідова + Швидкість
Improved artificial potential field [20]	Штучне потенційне поле	Голономні	Офлайн	Евклідова
Ariadne's clew [27]	Клубок Аріадни	Голономні	Офлайн	Манхеттенська
Expansive configuration spaces [28]	Експансивні просторові дерева	Голономні	Офлайн	Евклідова
Probabilistic Roadmaps [31]	Дорожні карти	Голономні	Офлайн	Евклідова
Randomized roadmap method [32]	Дорожні карти	Голономні	Офлайн	Евклідова
Lazy PRM [37]	Дорожні карти	Голономні	Офлайн	A*
Gaussian sampling for PRM [38]	Дорожні карти	Голономні	Офлайн	Зважена евклідова
Halton sampling for PRM [39]	Дорожні карти	Голономні	Онлайн	A*
RRT [41]	RRT	Неголономні	Офлайн	Евклідова
RRT-connect [42]	RRT	Неголономні	Офлайн	Евклідова
RRT with local trees [44]	RRT	Неголономні	Офлайн	Евклідова + Манхеттенська
Obstacle-based RRT [45]	RRT	Неголономні	Офлайн	Евклідова + Жадібна
Bidirectional RRT [46]	RRT	Голономні	Офлайн	Евклідова + Вартість
RRT* [47]	RRT	Голономні	Офлайн	Евклідова
Informed RRT* [48]	RRT	Голономні	Офлайн	Евклідова
Goal-directed and randomized search [52]	Subgoal network	Голономні	Онлайн	Евклідова
SANDROS [52]	Subgoal network	Голономні	Онлайн	Евклідова + Манхеттенська
Artificial potential field based subgoal network [54]	Subgoal network	Голономні	Онлайн	Евклідова + Вартість
Dynamic subgoal path planner [55]	Subgoal network	Голономні	Онлайн	A* + Евклідова
Hierarchical motion planner [56]	Subgoal network	Голономні	Онлайн	Евклідова + Вартість
Two-layered subgoal algorithm [57]	Subgoal network	Голономні	Онлайн	A* + Евклідова



Це можна пояснити різницею у форматі вхідних даних, що потребується для роботи методу: офлайн методи використовують існуюче представлення простору  $C_{space}$  як масивів перешкод та простору  $C_{free}$ , а онлайн методи використовують сенсорні дані для побудови представлення простору для подальшого руху. Значна кількість методів (22 з 35) розроблені для пошуку шляху у режимі офлайн та не можуть бути використані для пошуку за умов відсутності повної мапи на момент початку шляху. Це означає, що для застосування цих методів потрібно передбачити можливість створення локальної мапи оточення МАР використання мережі проміжних задач для подальшої навігації.

Під метрикам алгоритмів пошуку шляху мають-ся на увазі методи отримання кращого розв'язку для поточного кроку алгоритму, або для алгоритму взагалі. Це можуть бути як прості метрики, такі як Евклідова чи Манхеттенська відстань до об'єкту, так і алгоритми пошуку найкоротшого шляху на графі та функції вартості. З 35 методів, 14 використовують лише Евклідову довжину у якості метрики для пошуку, та ще 13 – комбінацію з Евклідової метрики та іншого методу оцінки.

Це означає, що ці методи можна вдосконалити за рахунок використання інтелектуальних систем, таких як нейронні мережі та нечіткі регулятори [21, 22, 43, 53].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Causes of Coal Mine Accidents in the World and Turkey/ Kūçük, F., and Ilgaz, A. // Turkish thoracic journal – Vol. 16. – P. 9–14. – 2015. <https://doi.org/10.5152/ttd.2015.003>
2. An affordable, robust mining inspection robot / CD. A. Carnegie, J. McVay, L. Molyneaux and C. Chitty // 2015 IEEE 7th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS) and IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics (RAM) – P. 143-148 – 2015. <https://doi.org/10.1109/ICCIS.2015.7274611>
3. Mobile robots in mine rescue and recovery/ R. R. Murphy, J. Kravitz, S. L. Stover and R. Shoureshi // IEEE Robotics & Automation Magazine – Vol. 16. – No. 2. – P. 91-103. – 2009. <https://doi.org/10.1109/MRA.2009.932521>
4. Gross motion planning—a survey/ Yong K. Hwang and Narendra Ahuja // ACM Computing Surveys (CSUR) – Vol. 24. – No. 3. – P. 219-291 – 1992. <https://doi.org/10.1145/136035.136037>
5. Robot Motion Planning: A Distributed Representation AProach /Barraquand Jerome and Latombe Jean-Claude // International Journal of Robotic Research - IJRR – Vol. 10. – P. 628-649. – 1991. <https://doi.org/10.1177/027836499101000604>
6. Coverage of Known Spaces: The Boustrophedon Cellular Decomposition / Choset, H // Autonomous Robots – Vol. 9. – P. 247-253 – 2000. [doi.org/10.1023/A:1008958800904](https://doi.org/10.1023/A:1008958800904)
7. Sensor-Based Coverage: Incremental Construction of Cellular Decompositions/ Yong K. Hwang and Narendra Ahuja // Algorithmic Foundations of Robotics V. Springer Tracts in Advanced Robotics – Vol. 7. – P. 399-415 – 2004. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-45058-0\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-540-45058-0_24)
8. Optimizing cell decomposition path planning for mobile robots using different metrics/ M. Kloetzer, C. Mahulea and R., Gonzalez // 2015 19th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC) – P. 565-570 – 2015. <https://doi.org/10.1109/ICSTCC.2015.7321353>
9. Path tracking control coverage of a mining robot based on exhaustive path planning with exact cell decomposition/ D. H. Kim et al. // 2014 14th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2014) – P. 730-735 – 2014. <https://doi.org/10.1109/ICCAS.2014.6987875>
10. A subdivision algorithm in configuration space for findpath with rotation/ R. A. Brooks and T. Lozano-Pérez // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Vol. SMC-15. – No. 2. – P. 224-233 – 1985. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1985.6313352>
11. Information-Driven Sensor Path Planning by AProximate Cell Decomposition/ C. Cai and S. Ferrari // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics) – Vol. 39. – No. 3. – P. 672-689 – 2009. <https://doi.org/10.1109/TSMCB.2008.2008561>
12. A quadtree-based path-planning algorithm for a mobile robot / Noborio Hiroshi, Naniwa Tomohide and Arimoto Suguru // Journal of Robotic Systems – Vol. 7. – P. 219-291. – 1990. <https://doi.org/10.1002/rob.4620070404>
13. Framed-quadtree path planning for mobile robots operating in sparse environments / A. Yahja, A. Stentz, S. Singh and B. L. Brumitt // Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation – Vol. 1. – P. 650-655. – 1998. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1998.677046>
14. The K-Framed Quadrees AProach for Path Planning Through a Known Environment / Rodrigues A., Costa P. and Lima J. // ROBOT 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing – Vol. 693. – P. 49-59 – 2018. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70833-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70833-1_5)
15. Adaptive online cell decomposition with a laser range finder in unknown non-rectilinear environments, B., Lee, S.-G., Quang, T. B., Gwak, K.-W., and Lee, B. // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing – Vol. 18(4). – P. 487–495 – 2017. <https://doi.org/10.1007/s12541-017-0059-7>
16. Path planning using probabilistic cell decomposition / Lingelbach, F. // 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation – P. 467–472. – 2004. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2004.1307193>
17. Path planning using Harmonic Functions and Probabilistic Cell Decomposition / Rosell, J., and Iniguez, P. // Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation – P. 1803–1808. – 2005. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2005.1570375>
18. Real-time obstacle avoidance for manipulators and mobile robots / O. Khatib // Proceedings. 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation – P. 500-505. – 1985. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1985.1087247>
19. Dynamic motion planning for mobile robots using potential field method / Ge, S., and Cui, Y. // Autonomous Robots – Vol. 13. – P. 207-222. – 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1020564024509>
20. An efficient improved artificial potential field based regression search method for robot path planning / Li, G., Yamashita, A., Asama, H., and Tamura, Y. // 2012 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation – P. 1227–1232. – 2012. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2012.6283526>

21. Evolutionary artificial potential fields and their application in real time robot path planning / P. Vadakkepat, Kay Chen Tan and Wang Ming-Liang // ACM Computing Surveys (CSUR) – Vol. 1. – P. 256-263. – 2000. <https://doi.org/10.1109/CEC.2000.870304>
22. Autonomous mobile robot dynamic motion planning using hybrid fuzzy potential field / Jaradat, M. A. K., Garibeh, M. H., & Feilat, E. A. // Soft Computing – Vol. 16(1). – P. 153–164. – 2012. <https://doi.org/10.1007/s00500-011-0742-z>
23. Multiple robot path coordination using artificial potential fields / C. W. Warren // Proceedings., IEEE International Conference on Robotics and Automation – Vol. 1. – P. 500-505. – 1990. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1990.126028>
24. A study of cluster robots line formatted navigation using potential field method / Y. H. Kang, M. C. Lee, C. Y. Kim, S. M. Yoon and C. B. Noh // 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation – P. 1723-1728. – 2011. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2011.5986370>
25. Sampling-Based Robot Motion Planning: A Review / M. Elbanhawi and M. Simic // IEEE Access – Vol. 2. – P. 56-77. – 2014. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2014.2302442>
26. Robot Motion Planning: A Distributed Representation Approach / Barraquand, J. and Latombe, J.C. // The International Journal of Robotics Research – Vol. 10(6). – P. 628–649. – 1991. <https://doi.org/10.1177/027836499101000604>
27. The "Ariadne's clew" algorithm: global planning with local methods / P. Bessiere, J., Ahuactzin, E., Talbi and E. Mazer // Proceedings of 1993 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '93) – Vol. 3. – P. 1373-1380. – 1993. <https://doi.org/10.1109/IROS.1993.583784>
28. Path planning in expansive configuration spaces / D. Hsu, J. Latombe and R. Motwani // Proceedings of International Conference on Robotics and Automation – Vol. 3. – P. 2719-2726. – 1997. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1997.619371>
29. Visibility-polygon search and euclidean shortest paths / T. Asano, T. Asano, L. Guibas, J. Hershberger and H. Imai // 26th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (sfcs 1985) – P. 155-164. – 1985. <https://doi.org/10.1109/SFCS.1985.65>
30. A Voronoi method for the piano-movers problem, Proceedings / J. Canny // 1985 IEEE International Conference on Robotics and Automation – P. 530-535. – 1985. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1985.1087297>
31. Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces / L. E. Kavraki, P. Svestka, J. Latombe and M. H. Overmars // IEEE Transactions on Robotics and Automation – Vol. 12. – No.4. – P. 566-580 – 1996. <https://doi.org/10.1109/70.508439>
32. A randomized roadmap method for path and manipulation planning / N. M. Amato and Y. Wu // Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation – Vol. 1. – P. 113-120. – 1996. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1996.503582>
33. Probabilistic roadmaps for robot path planning / Kavraki, L. E., Latombe, J. C., and Latombe, E. // Practical Motion Planning in Robotics: Current Approaches and Future. – 1998. <https://doi.org/10.1.1.19.5276>
34. Probabilistic Road Map sampling strategies for multi-robot motion planning / Clark, C. M. // Robotics and Autonomous Systems – Vol. 53(3-4). – P. 244-264 – 2005. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2005.09.002>
35. Coordinated path planning for multiple robots / Švestka, P., & Overmars, M. H. // Robotics and Autonomous Systems – Vol. 23(3). – P. 125–152. – 1998. [https://doi.org/10.1016/S0921-8890\(97\)00033-X](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(97)00033-X)
36. Multiple query probabilistic roadmap planning using single query planning primitives / Bekris, K. E., Chen, B. Y., Ladd, A. M., Plaku, E., and Kavraki, L. E. // Proceedings 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2003) – P. 656–661. – 2003. <https://doi.org/10.1109/IROS.2003.1250704>
37. Path planning using lazy PRM / R. Bohlin and L. E. Kavraki // Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings – Vol. 1. – P. 521-528. – 2000. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2000.844107>
38. The Gaussian sampling strategy for probabilistic roadmap planners / V. Boor, M. H. Overmars and A. F. van der Stappen // Proceedings 1999 IEEE International Conference on Robotics and Automation – P. 1018–1023. – 1999. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1999.772447>
39. Mobile robot navigation system based on Probabilistic Road Map (PRM) with Halton sampling of configuration space / Velagic, J., Delimoustafic, D., & Osmankovic, D. // 2014 IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE) – P. 1227–1232. – 2014. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2014.68647>
40. The bridge test for sampling narrow passages with probabilistic roadmap planners / Hsu, D., Jiang, T., Reif, J., and Sun, Z. // IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2003. Proceedings. ICRA '03 – Vol. 3. – No. 3. – P. 4420–4426. – 2003. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2003.1242285>
41. Rapidly-Exploring Random Trees: A New Tool for Path Planning / LaValle, S. M. // 1998. <https://doi.org/10.1.1.35.1853>
42. RRT-connect: An efficient approach to single-query path planning / Kuffner, J. J., and LaValle, S. M. (2000) // Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation – Vol. 2. – P. 995–1001. – 2000. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2000.844730>
43. Approaches for heuristically biasing RRT growth / Urmson, C., and Simmons, R. // Proceedings 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2003) – Vol. 2. – P. 1178–1183. – 2003. <https://doi.org/10.1109/IROS.2003.1248805>
44. Augmenting RRT-planners with local trees / Strandberg, M. // IEEE International Conference on Robotics and Automation – Vol. 4. – P. 3258–3262. – 2004. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2004.1308756>
45. An obstacle-based rapidly-exploring random tree / Rodriguez, S., Tang, X., Lien, J. M., and Amato, N. M. // IEEE International Conference on Robotics and Automation – P. 895–900. – 2006. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2006.1641823>
46. Optimal Bidirectional Rapidly-Exploring Random Trees / Jordan, M., and Perez, A. // Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory - 2013.
47. Sampling-based algorithms for optimal motion planning / Karaman, S., and Frazzoli, E. // The International Journal of Robotics Research – Vol. 30(7). – P. 846–894. – 2011. <https://doi.org/10.1177/0278364911406761>
48. Informed RRT\*: Optimal sampling-based path planning focused via direct sampling of an admissible ellipsoidal heuristic / J. D. Gammell, S. S. Srinivasa and T. D. Barfoot // 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems – P. 2997-3004. – 2014. <https://doi.org/10.1109/IROS.2014.6942976>

49. Rapidly-exploring random tree based memory efficient motion planning / O. Adiyatov and H. A. Varol // 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation – P. 354-359. – 2013. <https://doi.org/10.1109/ICMA.2013.6617944>
50. A local based aProach for path planning of manipulators with a high number of degrees of freedom /Faverjon, B., and Tournassoud, P. // Proceedings. 1987 IEEE International Conference on Robotics and Automation – Vol. 4. – P. 1152–1159. – 1987. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1987.1087982>
51. Solving findpath by combination of goal-directed and randomized search / Glavina, B. // 1990 IEEE International Conference on Robotics and Automation – Vol. 3. – P. 1718–1723. – 1990. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1990.126257>
52. SANDROS: a motion planner with performance proportional to task difficulty / Chen, P. C., & Hwang, Y. K. // Proceedings 1992 IEEE International Conference on Robotics and Automation – P. 2346–2353. – 1992. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.1992.220112>
53. Path planning with neural subgoal search/ B. Baginski and M. Eldracher // Proceedings of 1994 IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN'94) – Vol. 5. – P. 2732-2736. – 1994. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1994.374662>
54. Robot Real-Time Motion Planning and Collision Avoidance in Dynamically Changing Environments / Jin-xue Z. // Emerging Research in Artificial Intelligence and Computational Intelligence, Communications in Computer and Information Science – Vol. 237. – P. 325-334. – 2011. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-24282-3\\_44](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24282-3_44)
55. A dynamic subgoal path planner for unpredictable environments / H. Liu, W. Wan and H. Zha // 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation – P. 994-1001. – P. 219-291 – 2010. <https://doi.org/10.1109/ROBOT.2010.5509324>
56. An improved hierarchical motion planner for humanoid robots / Candido, S., Kim, Y. T., and Hutchinson, S. // 2008 8th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Humanoids 2008 – P. 654–661. – 2008. <https://doi.org/10.1109/ICHR.2008.4756021>
57. A two-layered subgoal based mobile robot navigation algorithm with vision system and IR sensors / Nirmal Singh, N., Chatterjee, A., Chatterjee, A., and Rakshit, A. // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation – Vol. 44(4). – P. 620–641. – 2011. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2010.12.002>

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,

Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 27.03.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.05.2019

#### **Классические методы планирования пути для мобильных роботов**

А. А. Проценко, В. Г. Иванов

Мобильные автономные роботы (МАР) используются для выполнения большого количества разнообразных задач в различных отраслях, таких как добыча полезных ископаемых, поиск и спасение, военных применений и тому подобное. Отдельно выделяется категория МАР, которые используются в закрытых помещениях. Это связано с дополнительными техническими и программными ограничениями налагаемые на МАР и оператора. В этой статье рассматриваются 35 классических методов поиска пути для МАР и методов их оптимизации. Классические методы включают следующие категории методов: методы клеточной декомпозиции; методы искусственного потенциального поля; выборочные методы; методы, использующие сеть промежуточных задач. В статье также рассматриваются основные проблемы, возникающие при исполнении задачи поиска путей. Методы анализировались по следующим характеристикам: ограничения; режим планирования; метрика, которая используется для планирования следующего шага. Также в статье рассматриваются основные проблемы, с которыми сталкиваются при выполнении задачи поиска пути.

**Ключевые слова:** МАР, работы, автономность, поиск пути, планирование движения.

#### **Classical methods of path planning for mobile robots**

А. А. Protsenko, V. G. Ivanov

Mobile autonomous robots (MAR) are used to perform a large number of diverse tasks in various industries, such as mining, search and rescue, military, etc. Separately allocated category of MAR, which is used in enclosed spaces. This is due to the additional technical and software limitations that are imposed on the MAR and the operator. The problem of moving robots from point A to point B is a basic problem that applies to all robots, but when used in underground structures, the solution to this problem is complicated by the presence of additional factors such as lack of communication with the operator and the inability to use GPS systems. This article discusses 35 classic methods of pathfinding for MAR and methods for optimizing them. Classical methods find solutions to the problem of finding a way, or prove that it does not exist, without finding a compromise between the quality of the path and the amount of time / resources required to find it. Classical methods include the following categories of methods: methods of cell decomposition; methods of the artificial potential field; selective methods; methods that use a subgoal network. The article also discusses the main problems encountered during the execution of the pathfinding task. Methods were analyzed for the following characteristics: restrictions; planning mode; the metric used to plan the next step. The limitations on a system for which the method may be used are either holonomic or non-holonomic. Holonomic restrictions can be applied to systems where motion is described only through coordinates and time, without taking into account speeds and accelerations, which makes them ideal for theoretical calculations. The planning mode shows whether this method can be used for planning on-the-go (online) or before it starts (offline). Even methods that are in the same category may vary significantly depending on which mode they were designed for. Under the metrics of path search algorithms, we mean methods for obtaining a better solution for the current step of the algorithm, or for the algorithm in general.

**Keywords:** MAR, robot, autonomy, path search, motion planning.

О. М. Тихенко

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ МАГНІТНИХ ПОЛІВ НА РОБОЧИХ МІСЦЯХ РУХОМОГО СКЛАДУ МІСЬКОГО ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ ТА ЗАСОБИ ЇХ НОРМАЛІЗАЦІЇ

Предметом представленої роботи є дослідження магнітних полів на робочих місцях рухомого складу міського електротранспорту. Мета роботи – експериментальні дослідження фактичних рівнів магнітних полів на робочих місцях рухомого складу міського електричного транспорту та розроблення заходів з їх нормалізації. Для проведення досліджень було обрано найбільш поширені у м. Києві зразки міського електричного транспорту – тролейбус, трамвай та метрополітен. Для проведення досліджень використовувався повірений вимірювач стаціонарного магнітного поля МТМ–01. Враховуючи зміну потужності електроприводу, вимірювання виконувалися за різних режимів руху транспортних засобів на робочих місцях водіїв. В результаті аналізу отриманих даних встановлено, що значення індукції стаціонарного магнітного поля на робочих місцях водіїв тролейбусів приблизно удвічі нижчі за значення геомагнітного поля і практично не залежать від режимів руху. У рухомому складі метрополітену значення індукції магнітного поля практично неперервне при різних режимах руху та перевищує значення природного поля. При цьому у режимах розгону та гальмування спостерігається значне зростання рівня поля з його інверсією. Найбільш складною є динаміка індукції магнітного поля у трамваї. На зупинці вона нижча за природне значення, під час руху з постійною швидкістю цей показник збільшується майже до природного значення, а під час розгону та гальмування відбувається різке зростання (до трьох значень природного). При цьому спостерігається непередбачувана інверсія переважного напрямку магнітного поля. Доведено, що значні коливання індукції магнітного поля потребують розроблення організаційно-технічних заходів для зниження амплітуди коливань поля. Показано, що застосування спеціального екрана з магнітом'якого листового матеріалу, дозволяє зменшити амплітуду коливань поля та наблизити його значення до рівня природного геомагнітного поля. Але при застосуванні такого екрана у реальних умовах дуже важливим є визначення найбільш раціонального його розташування.

**Ключові слова:** магнітне поле, індукція, електротранспорт, магнітний екран, магнітом'який матеріал.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Як в Україні, так і в усьому світі питома вага електричного транспорту у міських пасажирських перевезеннях постійно зростає. Це пояснюється екологічністю таких транспортних засобів. Але поряд з цим вони можуть несприятливо впливати на їх експлуатаційників, зокрема водіїв трамваїв, тролейбусів, машиністів метрополітену через постійне перебування під впливом магнітних полів з боку контактної мережі та електроприводу, що на сьогоднішній день досліджено недостатньо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Не дивлячись на актуальність тематики, кількість досліджень та практично значущих розробок у галузі охорони праці персоналу міського електричного транспорту досить обмежена. Певним чином це пояснюється метрологічними труднощами. Так, у дослідженні [1] наведено виміряні рівні магнітного поля електротранспорту, але вони мають фрагментарний характер і стосуються задач фізичної екології. Практична розробка [2] також має на меті знизити вплив контактної мережі електротранспорту на міське середовище. Це ж стосується і розробки [3]. У роботі [4] показано, що не дивлячись на те, що міський транспорт використовує постійний електричний струм, постійність (стаціонарність) генерованого ним магнітного поля дуже умовна. Спектральний склад такого магнітного поля має суттєві варіації, тому для достовірності досліджень кількість вимірювань повинна бути значно збільшена. Певною мірою така ситуація обумовлена тим, що у чинних національних нормативах [5, 6] з монтажу, обслуговування та ремонту рухомого складу електротранс-

порту, контактної мережі та силового обладнання про електромагнітну безпеку працюючих навіть не згадується.

**Постановка завдання.** Мета роботи – експериментальні дослідження фактичних рівнів магнітних полів на робочих місцях рухомого складу міського електричного транспорту та розроблення заходів з їх нормалізації.

### Виклад основного матеріалу

Для проведення досліджень було обрано найбільш поширені у м. Києві зразки міського електричного транспорту – тролейбус, трамвай та метрополітен. Це ті транспортні засоби, які живляться постійним електричним струмом, тому для вимірювання використовувався повірений вимірювач стаціонарного магнітного поля МТМ–01. Враховуючи зміну потужності електроприводу, вимірювання виконувалися за різних режимів руху транспортних засобів на робочих місцях їх водіїв. Під час вимірювань обиралися прямолінійні ділянки руху. Орієнтація вимірювальної антени була постійною.

При проведенні досліджень слід враховувати, що постійне магнітне поле, генероване рухомим складом електричного транспорту, накладається на постійне геомагнітне поле, яке на широті м. Києва складає 49,6 мкТл. При цьому існує міжнародний норматив [7], згідно з яким у виробничих умовах забороняється зниження рівня геомагнітного поля більш ніж удвічі, тобто у нашому випадку – нижче 25 мкТл. Аналогічний національний норматив перебуває на стадії затвердження. При проведенні досліджень доцільно розглядати магнітне поле всередині транспортних засобів як варіації геомагнітного поля.

Вимірювання стаціонарного магнітного поля у тролейбусах під час стоянки та під час руху на різних режимах свідчить, що його індукція завжди перебуває у межах 20-30 мкТл. Відсутність суттєвих змін пояснюється тим, що тролейбус живиться від дводротової мережі і має відносно малу потужність. Зниження рівня геомагнітного поля відбувається через його часткове екранування металевим кузовом. Під час руху транспортного засобу спостерігається інверсія магнітного поля, тобто зміна його переважної спрямованості (вимірювальний прилад МТМ-01 показує рівні поля як за інтегральним значенням, так і за окремими трьома координатами). Результати вимірювання індукції магнітного поля у трамваї під час зупинки, розгону, руху з постійною швидкістю та гальмування наведено на рис. 1. З рисунку видно, що під час зупинки рівень магнітного поля мінімальний (17 мкТл), що нижче мінімально допустимого, під час розгону значення індукції поля різко зростає (у чотири рази більше природного), а під час руху з постійною швидкістю стабілізується на рівні 25-30 мкТл, під час гальмування знову зростає. Такі коливання є вкрай несприятливими щодо впливу на людей і потребують нормалізації. Вимірювання свідчать, що під час руху відбувається непередбачувана інверсія поля. На нашу думку, це можна пояснити наявністю розгалужених підземних інженерних мереж з феромагнітного матеріалу. Закономірності зміни магнітного поля на підземній ділянці метрополітену у режимах зупинки, розгону, руху з постійною швидкістю, гальмування наведено на рис. 2.

Слід відмітити два факти: індукція магнітного поля практично завжди вище природного магнітного поля, а зміни цього параметра у режимах розгону та гальмування відрізняється на різних ділянках лінії.

Значні коливання індукції магнітного поля потребують розроблення організаційно-технічних заходів принаймні для зниження амплітуди коливань поля. Теоретичні міркування та раніше виконані дослідження свідчать, що наявність біля джерела змінного магнітного поля (у даному випадку швидкоплинні коливання постійного магнітного поля) листового магнітомагнітного матеріалу згладжує коливання поля, тобто знижує його амплітуду. Це відбувається у

зоні, відгородженій цим листом від джерела поля або його переважної складової. Раніше проведені експерименти здійснювалися з використанням листової електротехнічної сталі з ефективною магнітною проникністю до 1000. При цьому спостерігалися зниження амплітуд коливання магнітного поля [8]. Слід очікувати, що матеріал з більшою магнітною проникністю буде знижувати амплітуди магнітного поля ще більше. Найбільш поширеними матеріалами з магнітними проникностями до 15000 є пермалої, але вони мають суттєвий недолік – втрата магнітних властивостей внаслідок деформацій, тому доцільність їх використання у рухомому складі електричного транспорту є сумнівною. Для проведення експериментів було обрано магнітомагнітний аморфний висококобальтовий сплав (вміст кобальту – 68 %) з мінімальною магнітною проникністю – 4000, максимальною – 44000. Через технологічні особливості виготовлення (надшвидке гатування) цей матеріал виробляється товщинами 20-50 мкм шириною 50 мм. Тому для виготовлення виробу великої площі стрічки аморфного сплаву з'єднувалися тканим плетінням. Для цього було використано експериментальну установку, схема якої наведена на рис. 3.

Випробування захисних властивостей екрана здійснювалося наступним чином. До джерела живлення постійного струму через реостат R підключався соленоїд L, який був джерелом магнітного поля. На першому етапі при зміні електричного струму

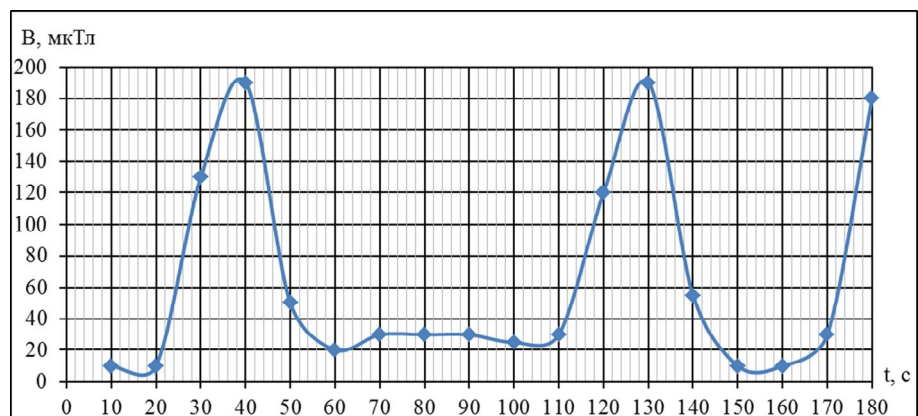


Рис. 1. Зміна індукції стаціонарного магнітного поля у трамваї за різних режимів руху

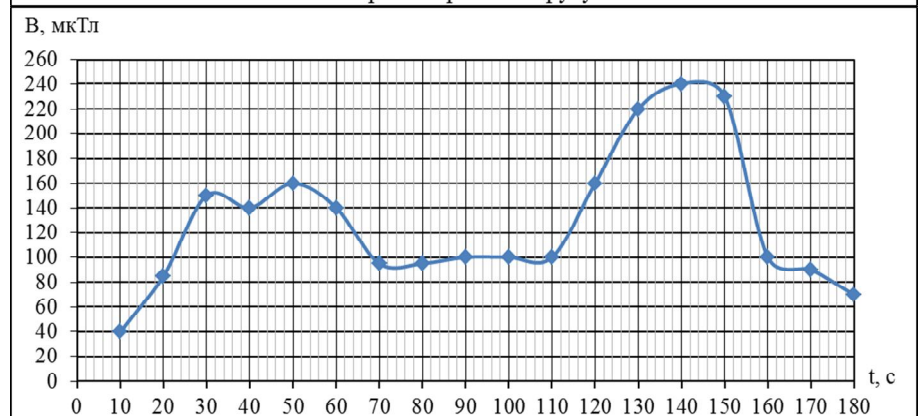
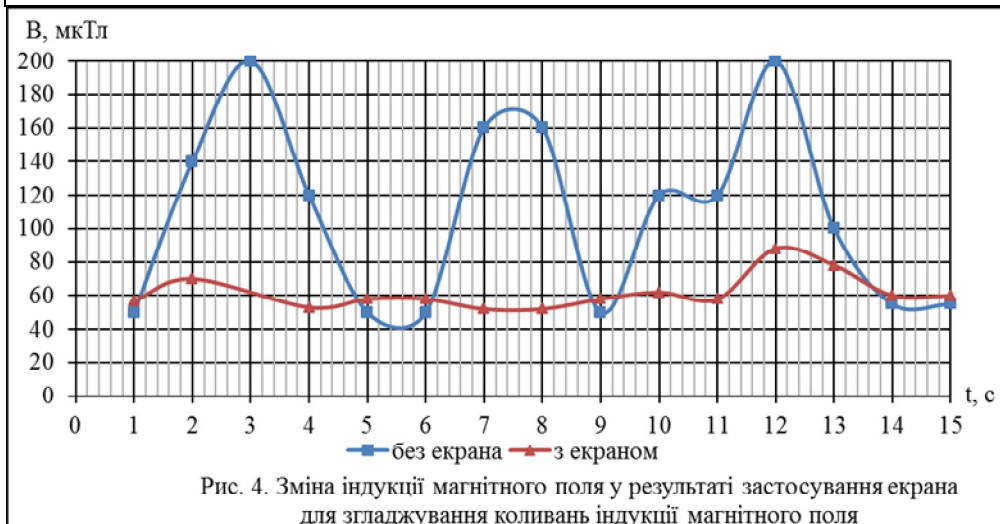
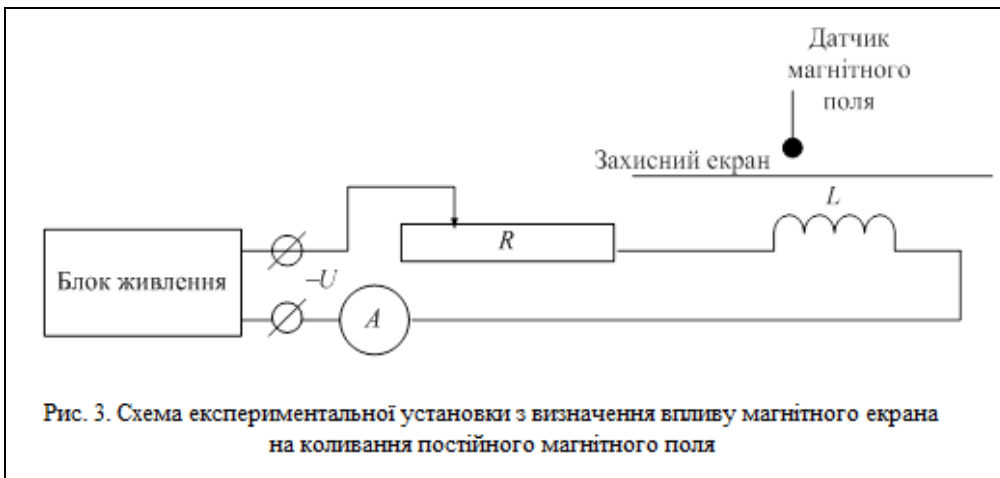


Рис. 2. Зміна індукції магнітного поля у вагоні метрополітену за різних режимів руху



змінювалося і реєструвалося вимірювальним приладом індукція магнітного поля. На другому етапі при аналогічних змінах магнітного поля соленоїда між ним та вимірювачем індукції магнітного поля розташовувався магнітний екран, а рівень магнітного поля реєструвався через такі є проміжки часу як і на попередньому етапі.

Результати змін індукції магнітного поля при використанні магнітного екрана наведено на рис. 4. Результати, наведені на рис. 4, свідчать, що застосування екрана з магнітом'якого матеріалу дозволяє знизити коливання значень магнітного поля. При цьому можливе також наближення значення індукції до рівня природного геомагнітного поля.



У реальних умовах застосування магнітного екрана дуже важливим є визначення найбільш раціонального його розташування.

Враховуючи пере важність горизонтальної складової геомагнітного поля, магнітний екран доцільно розташовувати вертикально, що знижує рівень сумарного магнітного поля у потрібному місці.

Але таке розміщення магнітного екрана не можна вважати однозначним. У різних транспортних засобах власне (техногенне) магнітне поле поширюється по різному.

Крім того, не вирішеними залишаються задачі пов'язані з інверсією магнітного поля, що потребує проведення подальших досліджень.

### Висновки

1. Значення індукції стаціонарного магнітного поля на робочих місцях водіїв тролейбусів приблизно удвічі нижчі за значення геомагнітного поля і практично не залежать від режимів руху.

2. У рухомому складі метрополітену значення індукції магнітного поля практично неперервне, при різних режимах руху та перевищує значення природного поля. При цьому у режимах розгону та гальмування спостерігається значне зростання рівня поля з його інверсією.

3. Найбільш складною є динаміка індукції магнітного поля у трамваї. На зупинці вона більш ніж удвічі нижча за природне значення, під час руху з постійною швидкістю цей показник складає дві третини природного значення, а під час розгону та гальмування відбувається різке зростання ( до трьох значень природного). При цьому спостерігається непередбачувана інверсія переважного напрямку магнітного поля.

4. Для згладжування коливань значення стаціонарного магнітного поля пропонується застосування спеціального екрана з магнітом'якого листового матеріалу. Це дозволяє не тільки зменшити амплітуду коливань поля, а й наблизити його значення до рівня природного геомагнітного поля.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глива В. А. Електричний транспорт як фактор електромагнітного забруднення міста / В. А. Глива, О. В. Панова, В. О. Кружилко // Екологічна безпека та природокористування. – 2015. – № 3. – С. 13–18.
2. Метод синтезу замкнених систем активного екранування магнітного поля повітряних ліній електропередачі / Б. І. Кузнецов, А. М. Туренко, Т. Б. Нікітіна та ін. // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 4. – С. 8–10.
3. Патент України 118352, МПК H05K 7/00, G12B 17/02 Пристрій екранування магнітного поля лінійного струмонесучого джерела / Запорожець О.І., Левченко Л.О., Ходаковський О.В., Кружилко В.О. // Заявл. 19.12.2016, опубл. 10.08.2017. Бюл. № 15.
4. Здановський В.Г. Загальні підходи до моделювання просторових розподілів електромагнітних полів електротехнічного обладнання / В. Г. Здановський, В. А. Глива, Л. О. Левченко // Проблеми охорони в Україні. – 2014. – Вип. 27. – С. 18 – 24.
5. СНиП 2.05.09-90 «Трамвайные и троллейбусные линии».
6. СОУ 60.2-33886519-0003:2006. Контактна мережа трамвайних та троллейбусних ліній. Система технічного обслуговування та ремонту. - К.: Державний комітет України з питань житлово – комунального господарства, 2006.
7. Standard of Building Biology Testing Methods: SBM–2015 – [acting from July 2008]. – Germany: Institut für Baubiologie +Ökologie IBN, 2015. – 5 p.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В. А. Глива,

Національний авіаційний університет, Київ

Надійшла (received) 07.04.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 05.06.2019

### Исследование магнитных полей на рабочих местах подвижного состава городского электротранспорта и средства их нормализации

О. Н. Тихенко

Предметом представленной работы является исследование магнитных полей на рабочих местах подвижного состава городского электротранспорта. Цель работы - экспериментальные исследования фактических уровней магнитных полей на рабочих местах подвижного состава городского электрического транспорта и разработка мер по их нормализации. Для проведения исследований были выбраны наиболее распространенные в г. Киеве образцы городского электрического транспорта - троллейбус, трамвай и метрополитен. Для проведения исследований использовался поверенный измеритель стационарного магнитного поля МТМ-01. Учитывая изменение мощности электропривода, измерения выполнялись при различных режимах движения транспортных средств на рабочих местах водителей. В результате анализа полученных данных установлено, что значение индукции стационарного магнитного поля на рабочих местах водителей троллейбусов примерно вдвое ниже значения геомагнитного поля и практически не зависят от режимов движения. В подвижном составе метрополитена значение индукции магнитного поля практически непрерывное при различных режимах движения и превышает значение природного поля. При этом в режимах разгона и торможения наблюдается значительный рост уровня поля с его инверсией. Наиболее сложной является динамика индукции магнитного поля в трамвае. На остановке она ниже природного значения, при движении с постоянной скоростью этот показатель увеличивается почти до природного значения, а во время разгона и торможения происходит резкий рост (до трех значений природного). При этом наблюдается непредсказуемая инверсия преимущественного направления магнитного поля. Доказано, что значительные колебания индукции магнитного поля требуют разработки организационно-технических мер по снижению амплитуды колебаний поля. Показано, что применение специального экрана с магнитомягкого листового материала, позволяет уменьшить амплитуду колебаний поля и приблизить его значение до уровня природного геомагнитного поля. Но при применении такого экрана в реальных условиях очень важным является определение наиболее рационального его расположения.

**Ключевые слова:** магнитное поле, индукция, электротранспорт, магнитный экран, магнитомягкий материал.

### The study of magnetic fields at the working places of municipal transport vehicles and methods of their attenuation

O. Tykhenko

The subject of the presented work is the study of magnetic fields at the workplaces of rolling stock of municipal electric transport. The purpose of the work is the experimental study of the actual levels of magnetic fields at the workplaces of rolling stock of urban electric transport and the development of measures for their normalization. For research purposes, the most common samples of urban electric transport in Kyiv have been chosen - trolleybus, tram and underground. For carrying out of researches the assistant meter of a stationary magnetic field MTM-01 was used. Given the change in power of the electric drive, measurements were made at different modes of movement of vehicles at the workplace drivers. Based on the analysis of the obtained data it is determined that the value of the induction of the stationary magnetic field at the workplaces of trolley bus drivers is approximately twice lower than the values of the geomagnetic field and practically does not depend on the modes of motion. In the rolling stock of the subway, the value of the magnetic field induction is practically continuous in different motion modes and exceeds the value of the natural field. In this case, during acceleration and inhibition modes, there is a significant increase in the level of the field with its inversion. The most complicated pattern is the dynamics of magnetic field induction in the tram. At the stop it is lower than the natural value, when driving at constant speed the induction increases almost to the natural value, and during acceleration and inhibition there is a sharp increase (up to triple of the natural). At the same time there is an unpredictable inversion of the dominant magnetic field direction. It is proved that significant fluctuations in the magnetic field induction require the development of organizational and technical measures to reduce the amplitude of field fluctuations. It is shown that the use of a special screen made of magnetically soft sheet material, reduces the amplitude of field fluctuations and approximates its value to the level of the natural geomagnetic field. But the choice of the most rational location is crucial for efficient application of such screen under real conditions.

**Keywords:** magnetic field, induction, electric transport, magnetic screen, magnetically soft material.

С. Ф. Чалий, В. О. Лещинський, І. О. Лещинська

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

## КОНЦЕПЦІЯ ФОРМУВАННЯ ПОЯСНЕНЬ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЗА ПРИНЦИПОМ БІЛОГО ЯЩИКУ

**Предметом** вивчення в статті є процеси формування пояснень в рекомендаційних системах. **Метою** є розробка концептуальної моделі формування пояснень в рекомендаційних системах за принципом білого ящика з тим, щоб користувач такої системи міг отримати пояснення щодо послідовності формування рекомендацій з урахуванням можливостей рекомендаційної системи. **Завдання:** виділити базові характеристики пояснень в інтелектуальних системах; розробити концептуальну схему побудови пояснень за структурним принципом; розробити концептуальну модель формування пояснень за принципом білого ящика. Використовуваними **принципами** є: структурний, або принцип білого ящика та функціональний, або принцип чорного ящика. Отримані наступні **результати**. Виділено базові характеристики пояснень в інтелектуальних системах, що дає можливість сформулювати пояснення при виведенні результату за принципом білого ящика та пояснення для інтерпретації отриманого результату за принципом чорного ящика. Розроблено концептуальну схему побудови пояснень, що зв'язує обмеження й умови вибору користувача із рейтинговим переліком товарів та послуг. Розроблено концептуальну модель формування пояснень за принципом білого ящика. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному. Запропоновано концептуальну модель побудови рекомендацій за принципом білого ящика, що враховує структурні обмеження та умови побудови рекомендацій. Обмеження визначаються через категорії та властивості об'єктів, а також через характеристики користувача. Умови задаються через послідовність взаємодії користувача із рекомендаційною системою, а також через результат вибору схожих користувачів. Модель забезпечує можливість формування загальної схеми побудови пояснень. Така схема дає можливість збільшити довіру користувача до отриманих рекомендацій за рахунок відображення послідовності побудови роботи рейтингового переліку товарів рекомендаційною системою.

**Ключові слова:** рекомендаційні системи, системи електронної комерції, пояснення; контекст прийняття рішення, формування рекомендацій, формування пояснень.

### Вступ

Рекомендаційні системи функціонують автономно або у складі систем електронної комерції та призначені для побудови списку товарів та послуг, що відповідають інтересам поточного користувача [1]. Загальна ідея побудови рекомендацій полягає у визначеності схожості товарів або користувачів та формування переліку товарів з аналогічними властивостями або переліку товарів, що є цікавими для схожих користувачів.

В якості вхідних даних для побудови рекомендацій використовуються рейтинги товарів, які формує користувач системи електронної комерції, або інформація про вибір споживачем тих чи інших товарів [2]. До рекомендованого персоналізованого переліку включаються товари зі схожими характеристиками та з високими рейтингами, або такі, що мають великий попит у схожих користувачів, вносяться. Така персоналізація пропозицій для конкретного споживача дає йому можливість спростити пошук важливих для нього об'єктів і, як наслідок, збільшує об'єми продажів у відповідній системі електронної комерції. Вказана перевага привела до широкого застосування рекомендаційних систем у сфері відео [3], на платформах продажу товарів онлайн [4], у готельному бізнесі [5, 6], тощо.

Однак на сьогодні при використанні рекомендаційних систем виникає проблема побудови рекомендованого переліку об'єктів у випадку неповноти або неточності інформації про вибір існуючих користувачів таких систем. Використання неточної інформації приводить до побудови не релевантних пропозицій товарів та послуг.

Така проблеми зазвичай виникає як при побудові рекомендацій для нових користувачів, так і у випадку штучного спотворення рейтингу товарів. Рекомендаційна система зазвичай не має інформації, або має мінімум інформації про покупки нових користувачів. Штучне спотворення даних про популярність товарів та послуг використовується зловмисниками з метою просування важливих для них об'єктів [7]. Отримані в результаті рекомендації не будуть відповідати інтересам користувача рекомендаційної системи.

Для вирішення цієї проблеми та формування релевантних рекомендацій такій ситуації використовуються пояснення, що описують спосіб отримання представлених рекомендацій. Пояснення дозволяють користувачеві краще зрозуміти, чи відповідають їхнім потребам товари із рекомендованого переліку [8]. Результатом використання рекомендацій є довіра і подальша лояльність споживача до системи електронної комерції [9], що дозволяє збільшити продажі на великих інтервалах часу. Існуючі підходи до побудови пояснень в системах електронної комерції базуються на методах побудови пояснень в експертних системах та набули інтенсивного розвитку протягом останніх десяти років [10].

В рамках запропонованих підходів виділені та деталізовані критерії оцінки пояснень [10], запропоновано враховувати прецеденти та обмеження при побудові пояснень [11]. Тобто показано, що пояснення є контекстно-орієнтованими але загальна концепція побудови пояснень в рекомендаційних системах з урахуванням контекстних обмежень потребує подальших досліджень. Перший крок розробки цієї концепції полягає у формалізації загаль-

ної схеми формування пояснень, що і свідчить про актуальність тематики даної статті.

**Метою статті є** розробка концептуальної моделі формування пояснень в рекомендаційних системах за принципом білого ящика. Така модель повинна зв'язати умови, результат та обмеження вибору користувача. Користувач має отримати пояснення щодо послідовності формування рекомендацій з урахуванням можливостей рекомендаційної системи. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі задачі: виділити базові характеристики пояснень в інтелектуальних системах; розробити концептуальну схему побудови пояснень за структурним принципом; розробити концептуальну модель формування пояснень за принципом білого ящика.

### Концептуальна модель формування пояснень за принципом білого ящика

Запропонована модель формування пояснень в рекомендаційній системі використовує базові характеристики пояснень в інтелектуальних системах.

Пояснення в інтелектуальних системах згідно особливостей їх функціонування можуть бути сформовані в таких ситуаціях: у процесі логічного виведення; у процесі інтерпретації результату роботи інтелектуальної системи [12]. Характеристики пояснень у таких ситуаціях представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Базові характеристики пояснень в інтелектуальній системі

Характеристики пояснення	Пояснення при виведенні результату	Пояснення для інтерпретації отриманого результату
Мета	Встановити, як отримано поточний результат	Виявити, чому отримано даний результат в інтелектуальній системі
Вхідні дані та умови формування	Залежності, що були використані при виведенні результату	Факти (події, об'єкти, тощо), що були використані для отримання результату в інтелектуальній системі
Результат	Підтвердження/відхилення гіпотези, яка була використана у процесі виведення	Відповідь на питання: чому дана множина фактів була використана для отримання результату в інтелектуальній системі

В першому випадку пояснення розглядається як частина процесів пошуку інформації й виведення результатів. Головна роль пояснення полягає у підтвердженні або відхиленні гіпотези, що є основою для процесу виведення. Іншими словами, пояснення дає можливість виявити: як було отримано даний висновок (або рекомендацію).

В другому випадку пояснення обумовлює спосіб використання результатів виведення. Пояснення дозволяє обґрунтувати отриманий результат або спосіб його використання. Тобто: чому, на основі яких фактів було отримано такий висновок, або чому ці факти потрібні для отримання відповідної рекомендації. В даному випадку різні варіанти використання стають зрозумілими для кінцевого користувача інтелектуальної системи.

Наведені характеристики пояснень свідчать про те, що у загальному випадку для їх побудови можуть бути використані адаптовані принципи білого та чорного ящиків, які широко застосовуються при тестуванні програмного забезпечення.

Згідно принципу білого ящика, при тестуванні враховується внутрішня структура програмної системи. Принцип чорного ящика базується на виділенні зв'язків: «входи - реакція системи» без врахування її внутрішньої структури. Принцип білого ящика – функціональним. Відповідно для того, щоб отримати пояснення у процесі логічного виведення, доцільно використовувати принцип білого ящика, а для формування пояснень, що інтерпретують отриманий результат – принцип чорного ящика. Адаптація цих принципів до розробленої концепції побудови пояснень в рекомендаційній системі полягає у використанні інформації про об'єкти, тобто про товари та послуги, а також про користувача, й предметну область. Інформація про об'єкти та користувача відображає контекст вибору [13, 14] в рекомендаційній системі та представляється у такий спосіб:

- категоризація товарів та послуг за їх функціональними властивостями з точки зору користувача;
- інформація про якісні та кількісні характеристики товарів та послуг, що пропонуються рекомендаційною системою.

Користувач у рекомендаційній системі характеризується такими даними:

- персональні дані, що вводяться до системи при реєстрації; до таких даних зазвичай належать: ім'я, адреса, номер телефону, стать;
- інформація про поведінку користувача в рекомендаційній системі та пов'язаній системі електронної комерції, зокрема дані про переглянуті сторінки, кліки на цих сторінках, вибір фільтрів по характеристикам товарів та послуг;
- явний зворотний зв'язок у вигляді рейтингів, що користувач виставляє товарам та послугам;
- неявний зворотний зв'язок у вигляді інформації про покупки товарів користувачем.

Додаткова інформація та знання з предметної області характеризують рекомендаційну систему в цілому, товари, а також поведінку користувача. До такої інформації віднесемо наступні складові:

- перелік та характеристики функцій рекомендаційної системи;
- наукові концепції та моделі у предметній області, які пов'язані із способом використання запропонованих товарів та послуг;
- загальні особливості людської поведінки, що впливають на мотивацію користувача при виборі товарів та послуг.

Концептуальна схема побудови пояснень за принципом білого ящика враховує розглянуту структуру інформації про об'єкти та користувача в рекомендаційній системі. Дана схема представлена на рис. 1. Розглянемо обґрунтування цієї схеми.

Існуючі функції рекомендаційної системи визначають можливості виділити залежності, що були використані при побудові рекомендацій. Так, якщо

система не фіксує перехід користувача по сторінкам сайту електронної комерції, то історія його пошуків не може бути використана для побудови пояснень.

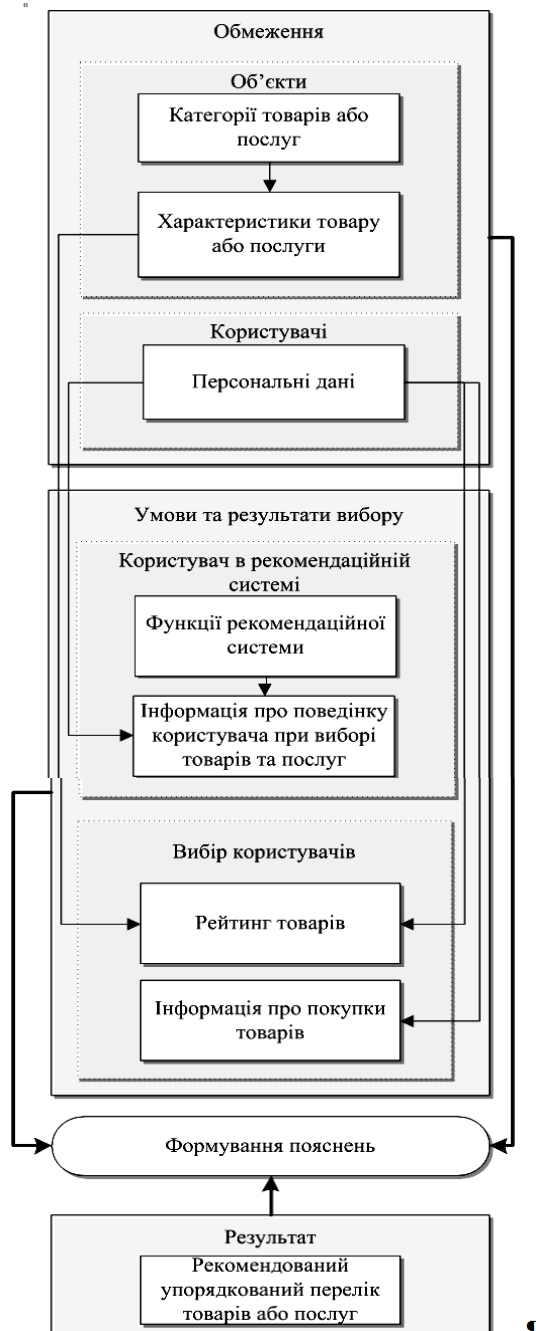


Рис. 1. Концептуальна схема побудови пояснень за принципом білого ящика

Концепції використання об'єктів у предметній області доповнюють характеристики товарів та послуг та дозволяють знайти такий зв'язок між вибором користувача та властивостями об'єктів його інтересу, який не може бути виявлений на основі аналізу характеристик товарів, характеристик споживача, а також бази покупок та виставлених користувачем рейтингів.

Розглянемо приклад такого зв'язку при виборі додаткових опцій зі схожими характеристиками для автомобіля. Наприклад, при реалізації опції попередження про перешкоди при паркуванні можуть бути використані ультразвукові датчики або камера. Ви-

бір опції залежить як від її вартості, так і від концепції подальшого застосування. Якщо планується приєднати причеп до авто, то ультразвукові датчики не будуть функціонувати коректно та встановлювати відстань до перешкоди. Загальні особливості людської поведінки дають можливість виявити вплив зовнішніх факторів на вибір користувача. Наприклад, при виборі одягу важливими є сезонний фактор, а також місце розміщення споживача.

Адаптований принцип білого ящика полягає у використанні моделей предметної області, моделей поведінки користувача та моделей рекомендаційної системи для побудови пояснень. Такі моделі дають можливість встановити зв'язок між вибором користувача та характеристиками товарів та послуг.

В цілому вказані моделі задають обмеження на вибір користувача. Моделі предметної області обмежують вибір користувача за рахунок способу використання товарів та послуг. Модель поведінки користувача в рамках рекомендаційної системи задає типові схеми вибору з урахуванням категорій товарів та їх розміщення на сторінках системи електронної комерції. Модель рекомендаційної системи охоплює її функції та задає обмеження на поведінку користувача.

Згідно схеми на рис. 1, при побудові пояснень щодо рекомендованого переліку товарів або послуг за структурним принципом в якості обмежень використовуються статичні на визначеному інтервалі часу характеристики товарів та дані користувача. Обмеження по категоріям та характеристикам товарів дає можливість не враховувати товари з іншими характеристиками та враховувати користувачів зі схожими персональними даними. Це дає можливість знизити розмірність задачі формування пояснень.

Умови вибору користувача відображають його поведінку з урахуванням екранних форм, які він використовує. Записи поведінки користувача дають можливість побудувати процесну або ситуаційну модель його вибору. Така модель відображає зв'язок вибору користувача з характеристиками товарів, його даними, а також із функціями рекомендаційної системи (або відповідної системи електронної комерції). Для побудови даної моделі на основі аналізу логів поведінки користувача зазвичай використовують методи інтелектуального аналізу процесів [15].

Зазначимо, що аналіз зв'язку вибору із функціями рекомендаційної системи дає можливість врахувати вплив її інтерфейсу на перелік відібраних об'єктів. В подальшому модель такого впливу може бути використана для удосконалення архітектури, функцій та інтерфейсу рекомендаційної системи.

Концептуальна модель  $W$  побудови пояснень в рекомендаційній системі за принципом білого ящика задає відображення умов  $S$  вибору користувача на рекомендований перелік  $R$  товарів та послуг з урахуванням обмежень вибору  $C$ . Дана модель має такий вигляд:

$$W : S \rightarrow R | C. \quad (1)$$

Обмеження  $C$  поєднує обмеження по характеристиках товарів  $C_g$  та по даним користувача  $C_u$ :

$$C = C_g \wedge C_u. \quad (2)$$

Для кожного товару  $g_i$  обмеження по характеристикам товарів  $C_{g_i}$  задаються через їх належність до певної категорії  $G^*$ , а також через значення їх властивостей. Тобто значення  $\gamma_i^j$  властивості  $j$  для товару  $g_i$  має належати до множини допустимих значень  $\Gamma^j$ :

$$\forall g_i = \{\gamma_i^j\} C_{g_i} = C_{g_i}^* \wedge C_{g_i}^{**}, \quad C_{g_i}^* = \text{true iff } g_i \in G^*, \quad (3)$$

$$C_{g_i}^{**} = \text{true iff } \forall i, j \gamma_i^j \in \Gamma^j.$$

Типову реалізацію обох обмежень на прикладі сайту elmir.ua наведено на рис. 2.



Рис. 2. Типова реалізація обмежень по категоріях об'єктів

Обмеження по користувачах задаються через схожі характеристики цих користувачів:

$$\forall u_k = \{\beta_k^l\} C_{u_k} = \text{true iff } \forall k, l \beta_k^l \in B^l, \quad (4)$$

де  $u_k$  – користувач;  $\beta_k^l$  – значення характеристики  $l$  користувача  $u_k$ ;  $B^l$  – множина допустимих значень характеристики  $l$ .

Отримана рекомендація має вигляд упорядкованого за важливістю для користувача переліку товарів або послуг:

$$R = \langle (g_1, r_1), \dots, (g_i, r_i), \dots, (g_l, r_l) : \forall i > 1 r_i > r_{i-1} \rangle, \quad (5)$$

де  $r_i$  – рейтинг товару  $g_i$ .

Умови  $S$  вибору користувача мають статичну та динамічну складову:

$$S = \{S_{dn}, S_{st}\}, \quad (6)$$

де  $S_{dn}$  – динамічна складова умов вибору користувачів, що відображається у вигляді послідовностей їх взаємодії з рекомендаційною системою;  $S_{st}$  – статична складова умов, що відображає результати вибору користувачів. Динамічна складова має вигляд послідовності подій. Кожна з цих подій фіксує

одну дію, яку виконав користувач рекомендаційної системи.

$$S_{dn} = \langle (d_1, f_1), \dots, (d_M, f_k) : f_i, f_j, f_k \in F \rangle, \quad (7)$$

де  $d_m$  – подія, що відповідає дії користувача;  $f_k$  – функція рекомендаційної системи.

Прикладами дій користувача є: вибір категорії товару; відбір товарів з потрібними властивостями шляхом кліків мишою (рис. 2). Статична складова представляється у двох формах: рейтинг або покупка. Рейтинг відображає явний зворотний зв'язок від користувача. Його перевага полягає в тому, що рейтинг зазвичай виставляється в балах і має декілька градацій. Але рейтинг не завжди є об'єктивним. Іноді він фальсифікується. Така ситуація зазвичай виникає при спробі збільшити продажі конкретного товару. При формуванні пояснень необхідно враховувати, що при формуванні рекомендацій використовуються товари з близькими рейтингами, а також покупки користувачів зі схожими персональними даними. Дані про покупки зазвичай трудно фальсифікувати. Однак в більшості випадків вони не мають градацій. Тобто використовується лише інформація про те, що було куплено одиницю товару.

## Висновки

Запропоновано концептуальну модель побудови рекомендацій за принципом білого ящика. Модель враховує обмеження та умови побудови рекомендацій, а також результуючий рекомендований список товарів та послуг. Обмеження задаються через категорії та властивості товарів та послуг, а також через характеристики користувача. Умови мають статичну й динамічну складові. Динамічна складова задається через послідовність взаємодії користувача із рекомендаційною системою. Статична складова задається через результат вибору схожих користувачів. Такий результат представлений рейтингами або покупками товарів та послуг.

В практичному сенсі дана модель задає загальну схему побудови пояснень, що показують користувачеві послідовність роботи рекомендаційної системи при побудові рейтингового переліку товарів та послуг. Також модель встановлює зв'язок між вхідними даними, що дає можливість визначити обмеження для відповідних методів побудови пояснень.

## REFERENCES

1. Adomavicius G. and Tuzhilin A. (2005), "Towards the Next Generation of Recommender Systems" A Survey of the State-of-the-Art and Possible Extensions, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, No. 17, pp. 634–749.
2. C. Aggarwal "Recommender Systems: The Textbook", New York: Springer, 2017, 498 p.
3. Bennet J. and Lanning S. (2007) "The Netflix Prize", Proceedings of KDD cup and workshop, available at : <http://www.netflixprize.com> (last accessed May 28, 2019).
4. Linden G., Smith B. and York J. (2003), "Amazon.com recommendations: Item-to-item collaborative filtering", Internet Computing, IEEE 7, 1, pp. 76–80.
5. Saga, R., Hayashi, Y., and Tsuji, H. (2008), Hotel Recommender System based on User's Preference Transition, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE/SMC 2008), 2437- 2442.
6. Jannach D., Gedikli F., Karakaya Z., Juwig O. (2012) Recommending Hotels based on Multi-Dimensional Customer Ratings. In: Fuchs M., Ricci F., Cantoni L. (eds) Inf. and Communication Technologies in Tourism 2012. Springer, Vienna, pp. 320-331.
7. I. Shilling "Attack detection for recommender systems based on credibility of group users and rating time series", <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196533> [Published: May 9, 2018].
8. S. Cleger-Tamayo, J. M. Fernandez-Luna, J. F Huete (2012) "Explaining neighborhood-based recommendations", In The 35th International ACM SIGIR conf. on Research and development in information retrieval, ACM, 2012, pp. 1063–1064.

9. N. Tintarev, J. Masthoff "Evaluating the effectiveness of explanations for recommender systems", in User Modeling and User-Adapted Interaction, 2012, № 22(4), pp.399–439.
10. N Tintarev, J Masthoff (2007). A Survey of Explanations in Recommender Systems. In G Uchuyigit (ed), Workshop on Recommender Systems and Intelligent User Interfaces associated with ICDE'07, pp. 801-810.
11. Cunningham, P., Doyle, D., Loughrey, J. (2003) An Evaluation of the Usefulness of Case-Based Reasoning Explanation. In: Case-Based Reasoning Research and Development: Proce. ICCBR. Nu. 2689 in LNAI, Trondheim, Springer, pp. 122–130.
12. Aamodt, A. (1991). A Knowledge-Intensive, Integrated Approach to Problem Solving and Sustained Learning. Ph.D. thesis, Norwegian Institute of Technology, Department of Computer Science, Trondheim, available at <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.141.503&rep=rep1&type=pdf>, (last accessed May 28, 2019).
13. Чалый С.Ф., Лещинський В.О., Лещинська І.О. (2018). Моделювання контексту в рекомендаційних системах. Проблеми інформаційних технологій, 1(023), 21-26.
14. Чалый С.Ф., Лещинський В.О., Лещинська І.О. (2018). Інтеграція локальних контекстів споживачів в рекомендаційних системах на основі відношень еквівалентності, схожості та сумісності. Process mining Materials of the VII International Scientific Conference «Information-Control System and Technologies», 142-144.
15. Чалый С.Ф., Прибильнова І.Б. (2017). Побудова ситуаційного представлення знань на основі аналізу логів. Вісник НТУ "ХПИ". Серія : Системний аналіз, управління та інформаційні технології, 28(1250), 70-73.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 22.03.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.05.2019

### Концепция формирования объяснений в рекомендательных системах по принципу белого ящика

С. Ф. Чалый, В. А. Лещинский, И. А. Лещинская

**Предметом** изучения в статье являются процессы формирования объяснений в рекомендательных системах. **Целью** является разработка концептуальной модели формирования объяснений в рекомендательных системах по принципу белого ящика с тем, чтобы пользователь такой системы мог получить пояснение для последовательности формирования рекомендаций с учетом возможностей рекомендательной системы. **Задачи:** выделить базовые характеристики объяснений в интеллектуальных системах; разработать концептуальную схему построения объяснений по структурному принципу; разработать концептуальную модель формирования объяснений по принципу белого ящика. Используемыми **принципами** являются: структурный, или принцип белого ящика и функциональный, или принцип черного ящика. Получены следующие **результаты**. Выделены базовые характеристики объяснений в интеллектуальных системах, что дает возможность сформировать объяснения при выводе результата по принципу белого ящика и объяснения для интерпретации полученного результата по принципу черного ящика. Разработана концептуальная схема построения объяснений, которая связывает ограничения и условия выбора пользователя с рейтинговым списком товаров и услуг. Разработана концептуальная модель формирования объяснений по принципу белого ящика. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем. Предложена концептуальная модель построения рекомендаций по принципу белого ящика, учитывающая структурные ограничения и условия построения рекомендаций. Ограничения определяются через категории и свойства объектов, а также через характеристики пользователя. Условия задаются через последовательность взаимодействия пользователя с рекомендательной системой, а также по результатам выбора похожих пользователей. Разработанная модель обеспечивает возможность формирования общей схемы построения объяснений. Такая схема дает возможность увеличить доверие пользователя к полученным рекомендациям за счет пояснения последовательности построения работы рейтингового перечня товаров рекомендательной системой.

**Ключевые слова:** рекомендательные системы, системы электронной коммерции, объяснение; контекст принятия решений, формирование рекомендаций, формирования объяснений.

### The concept of Designing explanations in the recommender systems based on the white box

Chalyi, V. Leshchynskiy, I. Leshchynska

The **subject matter** of the article is the processes of formation of explanations in the recommender systems. The **goal** is to develop a conceptual model for forming explanations in the recommendation systems on the basis of the white box, so that the user of such a system could get an explanation for the sequence of the formation of recommendations, taking into account the capabilities of the advisory system. **Tasks:** to highlight the basic characteristics of explanations in intelligent systems; to develop a conceptual scheme for constructing explanations according to a structural principle; to develop a conceptual model for forming explanations based on the principle of a white box. The **principles** used are: structural or the principle of a white box and functional, or the principle of a black box. The following **results** are obtained. The basic characteristics of explanations in intelligent systems are given, which gives the opportunity to formulate explanations for outputting the result on the principle of a white box and an explanation for interpreting the resulting result on the basis of the black box. The conceptual scheme of construction of explanations is developed, which links the constraints and conditions of the choice of the user with the rating list of goods and services. The conceptual model of explanation formation based on the principle of a white box is developed. **Conclusions.** Scientific novelty of the results is as follows. A conceptual model for constructing recommendations based on the principle of a white box is proposed, taking into account structural constraints and the conditions for constructing recommendations. Restrictions are determined by the categories and properties of the objects, as well as by the characteristics of the user. The conditions are set through the sequence of interaction of the user with the advisory system, as well as the results of the selection of similar users. The developed model provides the opportunity to formulate a general scheme for constructing explanations. Such a scheme provides an opportunity to increase the user's trust in the recommendations received by explaining the sequence of construction of the rating list of goods by the recommender system.

**Keywords:** recommender systems, e-commerce systems, explanation; the context of decision-making, the formation of recommendations, the formation of explanations.



С. В. Козелков, Я. А. Кременецька, Ю. В. Мельник

Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна

## ПЕРСПЕКТИВИ, ПЕРЕВАГИ ТА ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ВОЛОКОННО-ЕФІРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ В МІЛІМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ ХВИЛЬ

Волоконно-ефірні технології зможуть стати перспективним рішенням для реалізації телекомунікаційних бездротових систем в міліметровому діапазоні хвиль. Фотонні методи формування радіосигналів та волоконно-ефірна архітектура зможуть забезпечити високу пропускну спроможність мереж за рахунок широкої смуги обробки до 10 ГГц, спектрального мультиплексування та використання форматів модуляції високого порядку. У статті проаналізовані перспективи і переваги реалізації бездротових телекомунікаційних систем з використанням волоконно-ефірних технологій в міліметровому діапазоні хвиль. Показані основні принципи фотонних методів формування та модуляції радіосигналів міліметрового діапазону, архітектури гібридної волоконно-ефірної мережі. Проаналізовано складові шуму, дискретність модуляції амплітуди і фази для квадратурного модульованого радіосигналу з використанням фотонних методів понижуючого перетворення частоти.

**Ключові слова:** міліметровий діапазон хвиль, волоконно-ефірні технології, бездротові телекомунікаційні системи, оптоелектроніка, технологія RoF.

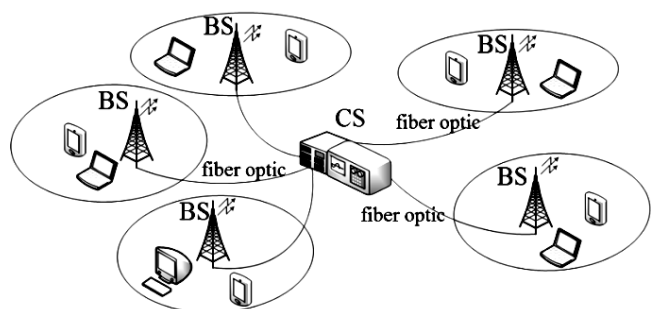
### Вступ

Перспективи реалізації бездротових телекомунікацій в міліметровому діапазоні (ММД) довжин хвиль пов'язані з використанням гібридних волоконно-ефірних технологій (англ. Radio over fiber, RoF), які включають в себе гібридні архітектури мереж, оптоелектронні методи формування радіосигналів, оптоелектронні методи формування діаграм спрямованості фазованих антенних решіток. Було проведено багато досліджень з передачі хвиль ММД по оптоволоконним лініям зв'язку, які використовують переваги як оптичних волокон, так і хвиль ММД для створення ширококутових систем (до 10 ГГц) зв'язку RoF, наприклад в [1-6]. Волоконно-ефірні мережі зможуть не тільки істотно підвищити пропускну здатність, але й вирішити проблеми слабких місць в конфігурації безпроводових мереж. Наприклад, зі збільшенням трафіку передбачається зменшення розмірів стільників, так як високочастотне випромінювання ММД, внаслідок поглинання, блокування, апаратних обмежень, не завжди може використовуватися для трафіку високої ємності на великі відстані. Надвисокі швидкості безпроводової передачі (більш ніж 40 Гбіт/с) вже з'явилися [3]. Однак створювати такі надшвидкісні бездротові системи складно через обмеження смуги пропускання електронних пристроїв. Волоконно-ефірна інтеграція (або технологія RoF) має переваги як оптоволоконної, так і безпроводової передачі. Волоконно-оптичні лінії можуть з'єднувати базові станції і центри обробки інформації з забезпеченням високої пропускну здатності за рахунок можливості спектрального мультиплексування та використання форматів модуляції високого порядку. А також в волоконні лінії зв'язку можуть конвертуватися сигнали в ММД. До того ж існуючі проблеми аналогово-цифрового перетворення в смугах 10 ГГц елект-

ронними методами поки проблематичні, тому оптоелектронні методи є ефективним рішенням для обробки сигналів в ММД [7].

### Архітектура та переваги волоконно-ефірних мереж у ММД

На рис. 1 представлена архітектура системи RoF з використанням ММД. Центральна станція (CS) і розподілені базові станції (BS) пов'язані з оптичними волокнами. У кожному стільнику взаємодія між мобільними терміналами і базовими станціями відбувається в ММД. Вирішальне значення для використання хвиль ММД у волоконно-ефірній архітектурі має велика швидкість обробки сигналів і передачі на великі відстані, спрямована передача та гібридне аналогово-цифрове формування променя за технологією MIMO, в якій також задіяні оптоелектронні методи мікрохвильової фотоніки.



**Рис. 1.** Волоконно-ефірна архітектура мережі у ММД: базові станції (BS) стільників зв'язані волоконно-оптичними лініями з центральною станцією CS

Використання волоконно-ефірної архітектури мереж має такі переваги [7-26]:

- можливість роботи з просторовим або/та спектральним ущільненням.
- покращення масо-габаритних характеристик та спрощення схеми діаграмоутворюючого пристрою.

- багатофункціональне використання (локація, зв'язок, моніторинг), багатодіапазонне (від L- до K-діапазону) функціонування.

- широкосмуговість: розширення миттєвої смуги обробки до 10 ГГц.

- підвищення швидкості та пропускної здатності систем обробки.

- широкий динамічний діапазон тракту приймання.

- підвищення прихованості функціонування радіоелектронних систем за рахунок роботи на фоні сильних сигналів та завад.

- малі втрати та дисперсія в оптичному волокні; високоякісна передача цифрових та аналогових НВЧ-сигналів між рознесеними постами апаратури, що спрощує розміщення апаратури на носіях та дозволяє створювати когерентне приймання в системах розподіленої структури.

- широкий динамічний діапазон перестроювання частоти; фотонні методи генерації і модуляції сигналів дозволяють перебудувати частоту з кроком менше 125 кГц (для діапазону настройки 69-112 ГГц).

Фотонні методи обробки радіосигналів стають більш ефективними у порівнянні з електронними методами, тому сучасні дослідження спрямовані на створення повністю оптичних систем обробки сигналів [7].

### Фотонні методи генерації та модуляції сигналів ММД

Прості і економічно ефективні фотонні методи генерації ММД сигналу є ключем до практичної реалізації волоконно-бездротових інтегрованих систем і мереж телекомунікацій. Різні види передових методів запропоновані для реалізації генерації сигналу ММД [1-8, 27]. Поширені та більш практично реалізовані представлені на рис. 2.

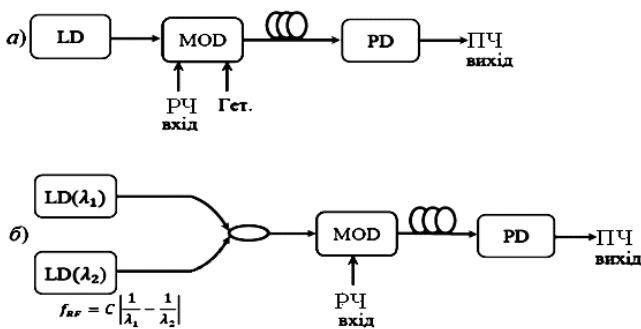


Рис. 2. Структурні схеми методів понижуючого перетворення частоти: а – зовнішня модуляція фотонної лінії, б – фотонна лінія з двома лазерними діодами (метод оптичного гетеродинування); LD -вузькосмуговий лазер, MOD зовнішній модулятор, PD - фотодіод, РЧ - радіочастотний сигнал, що управляє, ПЧ - вихідний сигнал на перетвореній радіочастоті

Перший тип (рис. 2, а) заснований на використанні одного зовнішнього модулятора інтенсивності і передавача з попереднім кодуванням. Перевага методів цього типу в тому, що задані дві оптичні несучі отримані від одного лазерного джерела і, отже, вони пов'язані за частотою і фазою, що ефек-

тивно пригнічує фазовий шум. Проте, регулювання частоти не є гнучким через використання попереднього кодування передавача. Векторний радіочастотний сигнал, який управляє (РЧ) модулятором в передавачі, може бути попередньо закодований за амплітудою і фазою. Крім того, алгоритми амплітудного і фазового попереднього кодування повинні змінюватися з різними форматами векторної модуляції, включаючи QPSK, 8QAM, 16QAM, 64QAM, 128QAM і так далі.

Другий тип (рис. 2, б) - заснований на гетеродинному битті двох світлових хвиль від двох незалежних та частотно не зв'язаних лазерів з довжиною хвилі, що переналаштовується. Цей тип може генерувати сигнали ММД з великим відношенням сигнал/шум (SNR) і має переваги простої структури і регульованої несучої частоти.

Однак, у даний час є багато вимог, що передбачені передачею в ММД в мобільних системах п'ятого покоління (5G), таких як: більш висока швидкість передачі, великі смуга пропускання і сталість несучої частоти, стають критичними. Генерація хвиль ММД, заснована на цьому типі методів, буде обмежувати розвиток 5G через властиву їм проблему нестабільності частоти.

### Моделювання шуму, амплітуди та фази радіосигналу ММД за технологією RoF

Вивчення амплітудного і фазового шуму в системах RoF необхідно для підвищення як спектральної так і енергетичної ефективності, вибору методів модуляції, мультиплексування, обмежень вихідної потужності та дальності передачі радіосигналів. Наприклад, в [28], для перспективних широкосмугових мобільних систем в ММД для забезпечення швидкостей в декілька Гбіт/с визначено, що значення для фазового шуму в одній бічній смузі повинні мати такі максимальні значення: -68 дБн/Гц, -84 дБн/Гц, -100 дБн/Гц при відстроюванні частоти 10 кГц, 100 кГц, 1 МГц відповідно. В якості показника ефективності систем RoF застосовується величина вектору помилок (англ. error vector magnitude, *EVM*). *EVM* передбачається для сигналу, складові шуму якого можна розглядати як гаусові випадкові процеси з нульовим середнім значенням. Для квадратурного-модульованого сигналу [27]:

$$EVM = \sqrt{\frac{1}{SNR} + 2 \left[ 1 - \exp\left(-\sigma_{\text{phase}}^2/2\right) \right] \sqrt{\frac{1}{PAV}}}, \quad (1)$$

де *SNR* - відношення сигнал/шум,  $\sigma_{\text{phase}}^2$  - середньоквадратичне значення (дисперсія) флуктуації фази, *PAV* - відношення пікового значення до середньої потужності сигналу (англ. peak-to-average energy ratio) для даної схеми модуляції.

В оптичному каналі різні шумові вклади представляють собою відносний шум інтенсивності, викликаний лазером, посиленням шумом спонтанного випромінювання через оптичні підсилувачі і тепловим і дробовим шумом, що генерується в PD. Незалежні складові шуму в оптичному каналі можна розглядати як гаусові випадкові процеси з нульовим

середнім і їх можна підсумувати як джерела струму, так як вони формуються під час оптоелектронного перетворення в фотодетекторі [4, 8, 27].

Найбільше значення при застосуванні технології RoF має фазовий шум, так як він знижує продуктивність системи [4]. Фазовий шум обмежує можливість виявлення сигналів в системі, так як він впливає на частоту помилок в цифрових додатках.

Джерелами фазового шуму можуть бути адитивні шуми, які, пов'язані з управляючим електронним генератором і допоміжними ланцюгами, такими як підсилювачі і джерела зміщення постійної напруги або струму, що додаються до сигналу, дробовий шум генератора і підсилювача.

При моделюванні впливу фазового шуму на значення  $EVM$ , виявленого сигналу на основі когерентного приймача, можна припустити, що значення фазового шуму перевищує значення SNR і  $PAV=1$ :

$$EVM = \sqrt{2 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{\sigma_{\text{phase}}^2}{2}\right) \right]}. \quad (2)$$

Флуктуація фази  $\sigma_{\text{phase}}$  визначається як

$$\sigma_{\text{phase}} = \sqrt{\int_{f_1}^{f_2} S_{\text{out}}(f) df}, \quad (3)$$

$f_2 - f_1$  полоса, що використовується для вимірювання флуктуації фази,  $S_{\text{out}}(f)$  - спектральна щільність потужності фазового шуму в заданій смузі частот. Передбачається, що оптичний носій і сигнал керуючого генератора мають безперервну хвилю за своєю природою. Отже, вони можуть бути виражені як:

$$E_{\text{opt}}(t) = E_{\text{opt}} \cos[2\pi f_{\text{opt}} t + \varphi_{\text{opt}}(t)] \quad (3)$$

$$V_{\text{RF}}(t) = V_m \cos[2\pi f_{\text{RF}} t + \varphi_{\text{RF}}(t)], \quad (4)$$

де  $E_{\text{opt}}(t)$  - поле оптичного носія в скалярній формі (передбачається, що світло лінійно поляризоване та напрямком поляризації відповідає площині поляризації модулятора);  $E_{\text{opt}}(t)$ ,  $f_{\text{opt}}(t)$  - амплітуда і частота оптичної несучої;  $V_m$ ,  $f_{\text{RF}}$  - амплітуда напруги та частота управляючого радіочастотного електричного сигналу  $V_{\text{RF}}(t)$ ;  $\varphi_{\text{opt}}(t)$ ,  $\varphi_{\text{RF}}(t)$  - фази оптичного і електричного сигналів, які є двома незалежними випадковими процесами. У методі зовнішньої модуляції інтенсивності оптичного випромінювання за допомогою модулятора Маха-Цендера (ММЦ) використовується настроювання частотного поділу двох оптичних бічних смуг шляхом зміни частоти сигналу електроприводу і селективна фільтрація оптичних несучих. Коли ММЦ зміщений в бік максимуму коефіцієнту пропускання, узагальнений вираз для модульованого оптичного сигналу на виході ММЦ може бути представлений в такий спосіб [2]:

$$E_{\text{out}}(t) = E_{\text{opt}} J_n(m) \times \left[ \begin{array}{l} \cos(2\pi f_{\text{opt}} t - 2n\pi f_{\text{RF}} t + \varphi_{\text{opt}}(t) - n\varphi_{\text{RF}}(t)) \\ + \cos(2\pi f_{\text{opt}} t + 2n\pi f_{\text{RF}} t + \varphi_{\text{opt}}(t) + n\varphi_{\text{RF}}(t)) \end{array} \right], \quad (5)$$

де  $J_n$  функція Бесселя першого роду  $n$ -го порядку,  $m = (\pi/2V_m) \cdot V_m$  - глибина модуляції,  $V_m$  - напівхвильова напруга ММЦ.

Коли селективний перемикач використовується для вибору двох оптичних під несучих порядку  $2n$  та рознесення частот  $4n f_{\text{RF}}$  ( $n = 1, 2 \dots$ ), на виході фотодіоду основна складова струму, що генерується приймає вигляд:

$$I_{\text{RF}} = \frac{1}{2} \Re E_{\text{opt}}^2 J_n^2(m) \cos(4n f_{\text{RF}} t + 4n \varphi_{\text{RF}}(t)), \quad (6)$$

де  $\Re$  чутливість фотодіоду.

Тоді потужність вихідного електричного радіосигналу можна представити таким чином:

$$V_{\text{RF, out}}(t) = k \cos[4n\pi f_{\text{RF}} t + 2n\varphi_{\text{RF}}(t)], \quad (7)$$

$k$  - коефіцієнт, пов'язаний зі значенням  $E_{\text{opt}}^2$ .

Спектральна щільність потужності фазових шумів електричних сигналів в одиночній бічній смузі (відношення потужності шуму  $P_{\text{SSB}}$ , вимірної в одній бічній смузі, перерахована в смугу 1 Гц, до повної потужності сигналу  $P_{\text{carrier}}$ ) зазвичай описується статичною залежністю [4]:

$$S(f_m) = \frac{P_{\text{SSB}}(f + f_m, 1 \text{ Гц})}{P_{\text{carrier}}} \cong \frac{1}{P_{\text{carrier}}} \left[ \frac{A}{f_m^2} + \frac{B}{f_m^3} \right], \quad (8)$$

де  $f_m$  - відстроювання частоти від несучої  $f$ ,  $A$  і  $B$  коефіцієнти, що визначають рівень шуму.

Односмугову спектральну щільність потужності фазового шуму електричного сигналу  $V_{\text{RF}}(t)$  можна виразити на основі (4), (8), [4] таким чином:

$$S_{\varphi}(f) \cong 2V_m^{-2} \left( \frac{A}{f^2} + \frac{B}{f^3} \right). \quad (9)$$

Результати експериментальних даних [4] показують, що на флуктуації фази генерованих електричних гармонік не впливає зміна фази оптичної несучої. При використанні оптоелектронних методів зовнішньої модуляції радіосигналів на значення фазового шуму головним чином впливають флуктуації сигналу електричного керуючого радіочастотного генератора і тільки на парні гармоніки. Тому флуктуація фази оптичного джерела не вносить вклад у фазовий шум електричний радіосигналу, що генерується.

Крім того, експериментальні результати [4] показують, що хроматична дисперсія в одномодовому оптоволоконні не викликає значне погіршення спектральної якості радіосигналу при передачі коли ширина лінії оптичного джерела знаходиться в межах 50 МГц і відстань передачі в межах 50 км.

Так як середня потужність сигналу  $V_{\text{RF, out}}(t)$  становить  $k^2/2$ , тоді спектральна щільність потужності фазових шумів вихідного електричного сигналу в одиночній бічній смузі можна виразити відповідно до (9):

$$S_{V,out}(f_m) = \frac{2S_{V,out}(2nf_{RF} + f_m)}{k^2} \cong (2n)^2 \cdot (2/V_m^2) \cdot [A/|f_m|^2 + B/|f_m|^3]. \quad (10)$$

З виразу (10) видно, що фазовий шум вихідного електричного сигналу визначається тільки фазовим шумом сигналу електричного приводу і порядком множення частоти. Окрім того, амплітуда та фаза модульованого вихідного сигналу передавача, як видно з (7) мають задовольняти вимогам:

$$A_{TX} \cong J_n^2 \{(\pi/2V_m) \cdot V_m \cos[\varphi(t)]\}, \quad (11)$$

$$\varphi_{TX} \cong 2n\varphi_{RF}(t), \quad n = 1, 2, 3, \dots,$$

де  $n$  - порядок обраних оптичних піднесучих.

З (11) видно, що амплітуда і фаза радіочастотного сигналу, що управляє, повинні бути попередньо закодовані. Для відомих даних багато амплітудної QAM модуляції значення  $A_{TX}$  і  $\varphi_{TX}$  являють собою попередньо кодовану амплітуду і фазу, які можуть бути призначені радіочастотному сигналу, що управляє.

Слід зазначити, що коли дані передавача модулюються за методом QPSK, тоді потрібно тільки

попереднє кодування фази. Однак коли дані передавача приймають сигнали з багато амплітудною QAM модуляцією, наприклад 8QAM, то потрібна попереднє кодування фази і амплітуди. Тому, алгоритми амплітудного і фазового попереднього кодування можуть змінюватися при використанні різних форматів модуляції.

## Висновки

Волоконно-ефірні технології зможуть стати перспективним рішенням для реалізації телекомунікаційних бездротових систем в міліметровому діапазоні хвиль. Фотонні методи формування радіосигналів та волоконно-ефірна архітектура зможуть забезпечити високу пропускну спроможність мереж за рахунок широкої смуги обробки до 10 ГГц, спектрального мультиплексування та використання форматів модуляції високого порядку. Подальше дослідження показників ефективності волоконно-ефірних технологій, алгоритмів амплітудного і фазового кодування радіосигналів є перспективними напрямками для знаходження рішень збільшення швидкості передачі інформації, енергоефективності, безшовної інтеграції різних технологій, що працюють в різних діапазонах довжин хвиль.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Yu J. Tutorial: Broadband fiber-wireless integration for 5G+ communication / J. Yu, X. Li, W. Zhou // *J. APL Photonics*. – 2018, – vol.3, – № 3, Art. no. 111101..
2. Yu J. Cost-effective optical millimeter technologies and field demonstrations for very high throughput wireless-over-fiber access systems / J. Yu, G.-K. Chang, Z. Iia, A. Chowdhury, M.-F. Huang, H.-C. Chien, Y.-T. Hsueh, W. Jian, C. Liu, and Z. Dong. // *J. Light w. Technol.* – 2010, vol.28, – № 16, – P. 2376–2397.
3. Kanno A. 40 Gb/s W-band (75-110 GHz) 16-QAM radio-over-fiber signal generation and its wireless / A. Kanno, K. Inagaki, I. Morohashi, T. Sakamoto, T. Kuri, I. Hosako, T. Kawanishi, Y. Yoshida, and K.-I. Ki-tayama, *We.10.P1.112, ECOC 2011*.
4. Qi G. Phase-Noise Analysis of Optically Generated Milli-meter-Wave Signals With External Optical Modulation Techniques / G. Qi, J. Yao, J. Seregelyi, S. Paquet, C. Belisle, X. Zhang, K. Wu // *Juornal of Lightwave Technol.* – 2006, – no. 24, – P. 4861-4875.
5. Kremenetskaya Y. A. Features of the Formation of Millimeter and Terahertz Waveforms / Y. A. Kremenetskaya, G. S.Felinsky, Y. V. Melnik, E. A. Bondarenko // *J. Naukovi Zapysky Ukrayinskoho Naukovo-Doslidnoho Instytutu Zvi'azku*. – 2017, – vol. – 3, no. 47, – P. 50-63/
6. Qi G. Generation and distribution of a wide-band continuously tunable millimeter-wave signal with an optical external modulation technique / G. Qi, J. Yao., J. Seregelyi, S. Paquet, and C.Belisle // *IEEE Microwave Theory and Techniques*. Oct. 2005. – vol. 53. – no 10. – P. 3090-3097.
7. J. O'Reilly J. Optical generation of very narrow linewidth millimetre wave signals / J. O'Reilly, P. Lane, R. Heidemann, and R. Hofstetter // *Electronics Letters*. – 1992, – vol. 28, – no. 25, – P. 2309–2311.
8. Urick V. J., McKinney J. D. and Williams K. J., *Fundamentals of Microwave Photonics*. New Jersey, USA: Wiley, 2015.
9. Кучук Г.А. Метод оценки характеристик АТМ-трафика / Г.А. Кучук // *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, – 2003. – № 6. – С. 44–48.
10. Saravana, Balaji B., Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), "Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446.
11. Кучук Г. А. Фрактальный гауссовский шум в трафиковых трассах / Г.А. Кучук // *Системи обробки інформації*. – 2004. – № 3(31). – С. 91-100.
12. Кучук Г.А. Анализ та моделі самоподібного трафіка / Г.А. Кучук, О.О. О.В. Можаяев, Воробйов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – Вып. 9 (35). – С. 173-180.
13. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of TCP Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node, *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
14. Gomathi, B, Karthikeyan, N.K. and Saravana, Balaji B., (2018), "Epsilon-Fuzzy Dominance Sort Based Composite Discrete Artificial Bee Colony optimization for Multi-Objective Cloud Task Scheduling Problem", *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*, Vol. 13, Issue 1-3, pp. 247-266, DOI: <https://doi.org/10.1504/IJBIDM.2018.088435>
15. Dhivakar B., Saravanan S.V., Sivaram M., Krishnan R.A. Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique". *Computer Science and Engineering*. 2012. Vol. 2, Issue 5. pp.43-45.
16. Sivaram, M., Batri, K., Amin Salih, Mohammed and Porkodi V. (2019), "Exploiting the Local Optima in Genetic Algorithm using Tabu Search", *Indian Journal of Science and Technology*, Volume 12, Issue 1.
17. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies*. 2015. P. 266-271.
18. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81.

19. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113. DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>
20. Кучук Г. А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, А.А. Янковский // Системи обробки інформації. – 2014. – № 7(123). – С. 93-96.
21. 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.
22. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. ЛуковаЧуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.
23. Sivaram, M., Porkodi, V., Mohammed, A.S., Manikandan V. Detection of Accurate Facial Detection Using Hybrid Deep Convolutional Recurrent Neural Network. *ICTACT Journal on Soft Computing*. 2019. Vol. 09, Issue 02. pp. 1844-1850.
24. Amin Salih M., Yuvaraj D., Sivaram M., Porkodi V. Detection And Removal Of Black Hole Attack In Mobile Ad Hoc Networks Using Grp Protocol. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*. Vol. 9, No 6. P. 1–6.
25. 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>
26. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>
27. Khayatzadeh R. Coherent and non-coherent receivers in 60-GHz RoF system based on passively mode-locked laser / R. Khayatzadeh, J. Poette, H. Rzaigui, and B. Cabon // *IEEE Microwave Photonics (MWP)*. - Alexandria, VA, USA. - 28-31 Oct. – 2013. – P. 138-141.
28. Beas J. Millimeter-Wave Frequency Radio over Fiber Systems: A Survey / J. Beas // *IEEE Commun. Surveys & Tut.* – 2013, – Vol. 15, no. 4. – P. 1593-1619.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л. Ф. Купченко,

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

Received (Надійшла) 18.04.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.06.2019

#### Перспективы, преимущества и основные принципы волоконно-эфирных технологий для телекоммуникационных систем в миллиметровом диапазоне волн

С. В. Козелков, Я. А. Кременецкая, Ю. В. Мельник

Волоконно-эфирные технологии смогут стать перспективным решением для реализации телекоммуникационных беспроводных систем в миллиметровом диапазоне волн. Фотонные методы формирования радиосигналов и волоконно-эфирное архитектура смогут обеспечить высокую пропускную способность сетей за счет широкой полосы обработки до 10 ГГц, спектрального мультиплексирования и использования форматов модуляции высокого порядка. В статье проанализированы перспективы и преимущества реализации беспроводных телекоммуникационных систем с использованием волоконно-эфирных технологий в миллиметровом диапазоне волн. Показаны основные принципы фотонных методов формирования и модуляции радиосигналов миллиметрового диапазона, архитектуры гибридной волоконно-эфирной сети. Проанализированы составляющие шума, дискретность модуляции амплитуды и фазы для квадратурного модулированного радиосигнала с использованием фотонных методов понижающего преобразования частоты.

**Ключевые слова:** миллиметровый диапазон волн, волоконно-эфирные технологии, беспроводные телекоммуникационные системы, оптоэлектроника, технология RoF.

#### Prospects, benefits and basic principles of fiber-wireless technologies for millimeter wave telecommunication systems

S. Kozelkov, Ya. Kremenetskaya, Yu. Melnyk

The article analyzes the prospects and benefits of implementing wireless telecommunication systems using fiber-wireless technologies in the millimeter wavelength range. The principles of implementation of the hybrid fiber-wireless architecture for mobile systems in the millimeter wavelength range are shown, where base stations and information processing centers are combined via fiber-optic lines using the conversion of the millimeter range channels into the optical range. The principles of the main photon methods of forming and modulating radio signals of the millimeter range, including the formation of quadrature-modulated signals, are analyzed. The possibility of discreteness of modulation of amplitude and phase, the creation of various algorithms for precoding the amplitude and phase of the millimeter-wave radio signal is shown. The noise components associated with the optoelectronic methods of generating radio signals based on external modulation of optical radiation, the efficiency indicator, which is used as an error vector magnitude, are analyzed. It is shown that the phase noise of the output electrical signal has a dominant value and is determined only by the phase noise of the signal of the electrical control generator and the frequency multiplication order. It is shown that the methods of microwave photonics of the formation of radio signals and the fiber-wireless architecture will be able to provide high bandwidth networks due to the wide processing band up to 10 GHz, spectral multiplexing and the use of high-order modulation formats. Photon (optoelectronic) processing of radio signals becomes more effective in comparison with electronic methods. Further study of the efficiency indicators of hybrid fiber-wireless technologies, amplitude and phase coding algorithms of radio signals are promising directions for finding solutions to increase information transfer speed, energy efficiency, for making seamless integration of various technologies that operate in different frequency ranges (including in different sub-bands of millimeter waves) and the radii of the coverage areas.

**Keywords:** millimeter wave range, fiber-wireless technologies, wireless telecommunication systems, optoelectronics, RoF technology.

O. Nalapko<sup>1</sup>, R. Pikul<sup>2</sup>, P. Zhuk<sup>2</sup>, A. Shyshatskyi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

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

## ANALYSIS OF MATHEMATICAL APPARATUS FOR MANAGING CHANNEL AND NETWORK RESOURCES OF MILITARY RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

The experience of carrying out the Operation of the United Nations (antiterrorist operation) on the territory of Donetsk and Luhansk oblasts shows that the existing procedure for managing the channel and network resources of military radiocommunication systems does not meet the modern requirements, which are put forward for them. The choice of a route in special purpose networks with the ability to self-organize on the basis of specific parameters is the main problem for managing the channel and network resources of special-purpose networks, as well as the difficult task of climbing the network. In this article, the authors analyzed the existing mathematical apparatus for controlling channel and network resources of military radiocommunication systems. During the research, the authors of the article used the classical methods of scientific knowledge, namely, the methods of analysis and synthesis, the basic provisions of the theory of communication, methods of modeling of communication networks, the theory of artificial intelligence, and others. It is established that the existing methods of controlling the channel and network resources of military radiocommunication systems take into account only certain factors influencing the quality of the use of channel and network resources of military radiocommunication systems. Therefore, it is the most expedient to choose a route for information transmission on many parameters based on fuzzy logic and a modified method of the ant colony system, through which searches and maintenance of the path of the packet passing between two points between the node from which the IP packet and the destination node are sent. To find a route, the following parameters must be considered: the energy component, the data rate, the time delay of the IP packet from the node that sends the packet to the destination node and the reliability of the delivery of the IP packet. These parameters should be taken into account while creating mathematical models, methods and techniques for managing channel and network resources of military radio communication systems.

**Keywords:** radio communication system, radio resource, channel and network resources, network topology, communication network, routing.

### Introduction

In route selection tasks, as a rule, a couple of nodes, which sends an IP packet and an IP packet destination node, while there are many possible routes to select. The goal is to find the route with the lowest cost, based on the cost, calculated for different possible directions.

Some modern protocols for dynamic routing in special purpose networks have built-in algorithms for finding the route, which tries to minimize the cost of delivery of packets from the destination node to the destination node. However, the specifics of the use of special-purpose networks require the development of new routing methods and techniques, taking into account a plurality of parameters to ensure the delivery of data from the sending node to the destination node.

Finding the shortest path (less cost) between a pair of points is a complex problem, which requires a calculation of all possible routes. In addition, most users need not only routes with the least number of hops to the destination but routes that can meet other important requirements. Such users most often need to provide support for the power component to increase battery life, to take into account the speed of the communication channel, the delay time for delivering the IP packet between the sender node and the destination node, and the reliability of the IP delivery of the package by the route.

Known scientific research does not take into account all these important parameters in one search and maintenance route in special purpose networks with the ability to self-organize. In turn, the system of ant colonies, combined with fuzzy logic, is used in the modified dynamic routing protocol (DSR) algorithm.

The purpose of this article is to make an analysis of the existing methods of controlling channel and network resources of military radio communication systems.

### Presentation of the main material

One of the most significant limitations of fuzzy output systems is the difficulty of building a knowledge base with more than five factors under consideration, provided that more terms are used to describe the factor. The generalization of the analysis of information processing methods is presented in Table 1.

Summarizing the analysis and taking into account the analysis of work on information processing [1-12] the most expedient is considered the choice of methods of the theory of fuzzy sets for the processing of factors and for the evaluation of information, since its application allows us to develop a mechanism for processing information, takes into account the mutual influence of verbally and numerically described factors, presented in various assessment scales.

**Fuzzy logic and artificial neural networks.** A fuzzy logic system is a popular and powerful tool that is being implemented by researchers for optimal route selection. Considering the problem of finding a route as a multi-criteria problem, [13] presents various approaches to optimize the search process and make decision choosing a route using fuzzy sets and fuzzy logic. The basis of fuzzy logic that was initiated by the American scientist Lotfi Zadeh [10, 11] allows us to describe qualitative inaccurate concepts and knowledge about the surrounding world. The methods of constructing information models based on this theory substantially expand the scope of application of information systems.



Table 1 – Generalization of the analysis of information processing methods

Method name	Brief description	Limitations
Factor analysis	Balance assessment of factor sets, score estimation of sets of levels of factors values, the definition of a general assessment taking into account the works of factors on their significance level	The need for experts to assess the factors and levels of their significance, the complexity of accounting factors that have a nonlinear impact on the overall assessment, the complexity of the processing of information in a verbal form
Spectral analysis	Representation of the initial value of the function of the investigated process in the form of a set of sinusoidal components, which allows to detect hidden cycles in the development process	The need for a significant sample of values of the output process to build its graphical dependence, the focus on the processing of information presented in numerical form
Neural networks	Construction of a mechanism for determining the output variable based on the input factors due to the correction of the values of the synapse weights (edges) of the network	The complexity of verbally described information processing, the secrecy of the network learning process, the need for a sufficient number of examples used for training the network, making it difficult to adjust the network during its operation
Delphi method	Obtaining a generalized assessment on the subject under consideration by the expert group	Dependence of the result on the opinion of experts
The theory of fuzzy sets	Summarization of information provided in numerical and verbal forms through the use of the representation of input variables in the form of fuzzy numbers, with the subsequent compilation of knowledge base on product rules	The complexity of the formation of knowledge base with the account of more than five factors about the object being studied

Ibrahim Mamdani [10, 11] is one of the first scientists who developed the concept of fuzzy control to manage complex processes, especially when there is no clear model for describing processes [10, 11]. Fuzzy management can be described as a means of controlling work with conditional sentences, which are called linguistic rules "IF-TO", rather than mathematical equations.

The derivation of the rule is called the conclusion and requires the definition of the membership function that characterizes this conclusion. This function defines the degree of truth of each sentence [14].

The various stages of a simple fuzzy logic control system are as follows:

- formation of the rules base of fuzzy output systems;
- phasification of input variables.

Each fuzzy system is implemented in the form of fuzzy rules (1), such as

$$\begin{aligned} \text{Rule I :if } A \text{ is } p_1 \text{ and } B \text{ is } q_1 \text{ then } Z \text{ is } g_1; \\ \text{Rule II :if } A \text{ is } p_2 \text{ and } B \text{ is } q_2 \text{ then } Z \text{ is } g_2; \end{aligned} \quad (1)$$

where  $A$  and  $B$  are variable parts of the condition,  $Z$  is a part of the action variable, and  $p_i$  and  $q_i$  are fuzzy parameters characterized by membership functions. Some rules of the rules of control use measurements, which are usually valid numbers [23]:

$$\mu_g(R) = \mu_{c1}(R) * \mu_{c2}(R), \quad (2)$$

where "\*" disjunction is the "max" function while using with the example of Mamdani.

– dephasing is a fuzzy result, which is the result of the conclusions, becomes a real value, which can be used as a control input. Since the desired output is an indeterminate result, the quantitative value of the control output is determined by dephasing  $\mu_{g_i}(R)$ .

There are two general methods of defazification, which

are the "center of gravity" and "average maximum" methods.

In artificial neural networks, the mathematical model simulates biological neural networks of the brain. A brain model connects many linear or nonlinear neuron models and processes information in a distributed manner. Since neural networks have training and self-organization capabilities, they can adapt to data changes and learn the characteristics of the input signal. Such networks can study the reflection between the input and output space and synthesize associative memory, which receives the corresponding output when it is presented with the input and is generalized while representing by new inputs [12]. Neural networks are used today in many industries, including recognition, identification, broadcasting, vision and control systems [13].

A neuron with an input vector with one  $n$ -element is shown in Fig. 1, where  $p_1, p_2, p_3, p_4$  include separate elements and  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  are the weights of the connections. An artificial neural network can be taught to perform a function by adjusting the weight values [13]. The block of the neuron has a displacement, which

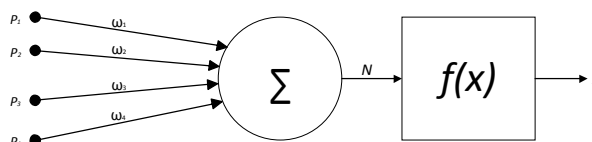


Fig. 1. Model of an artificial neuron

is summed up with the weight inputs to form a clean input. The output of a neuron is a weighted sum of input signals

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n p_i \cdot \omega_i + b\right). \quad (3)$$

The activation function of neurons is often a continuous and nonlinear function called a sigmoid function and is defined as

$$f(x) = 1 / (1 + e^{-ax}), \quad (4)$$

where  $e$  – constant and  $0 < f(x) < 1$ .

One of the most commonly used categories of artificial neural networks is called a direct network. This hierarchical structure consists of several layers without interconnections between the neurons in each layer, and signals come from the input layer to the output layer in one direction, as in Fig. 2.

The first layer of the neurons performs the procedure of phasation, bringing to fuzzy. As a result of this procedure, the values of the membership functions for the input variables are calculated. In order to ensure the maximum speed of the neuro-fuzzy data flow management system, it is proposed to use parametric, normal, unimodal and triangular membership functions. Given the different nature of the input and intermediate linguistic variables, the function of belonging is built separately for each variable.

The second layer performs the function of aggregation of the degrees of the truth of the conditions for each rule of the fuzzy output system in accordance with the operation of the T-norm, in which we use the operation min-conjuncture [13, 18, 22]. As a result of this procedure, the "cut off" levels are determined for the conditions of each of the rules. Those rules whose degrees of validity are different from zero are considered active and used for further calculations. The third layer of neurons forms at the output of the network a dephase value of the original value, which is the value of the level of pheromone which leaves behind an ant. As a method of dephasing in the Mamdani algorithm, a variant of the center of gravity method is used.

**Ant system of colonies**

In the articles [13], authors use ant-algorithms to find the route, and these algorithms are effective in solving the salesman's task.

The Ant Colony System (ACS) is a class of algorithms, the first term called the Ant System (AS), originally proposed by Dorigo et al. [13]. Although these ants are blind, they are able to find the shortest way from the food source to their nest, using a liquid substance called pheromone, which they release on the transit route.

The strategy of the Ant Colony tries to simulate the behavior of real ants with the addition of several artificial characteristics: visibility, memory and discrete time for the successful solution of many complex tasks such as the problem of a sales agent [14], the vehicle routing problem (VRP) [15], and the best route search [16]. Despite the fact that in recent years many changes have been made to the ACS algorithms, their fundamental

mechanism of behavior, which is a positive feedback process demonstrated by an anonymised colony, remains unchanged. Anthropogenic algorithms have many applications, for example, for communication networks [17], electrical distribution networks [28]. There are different stages of the algorithm of the usual system of ants of colonies such as:

- a description of the schedule of tasks;
- artificial ants move between discrete states in discrete environments. Since the tasks solved by the algorithm of the automated control system (ACS) are often discrete, they can be represented by a graph with  $N$  nodes and  $R$  routes;
- initialization of distribution of ants;
- a number of ants are placed on nodes of origin;
- the number of ants is often determined based on trial and error and the number of nodes in the region.

The rule for the distribution of probabilities of ants

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij})^\alpha (\eta_{ij})^\beta}{\sum_{h \notin tabu_k} (\tau_{ih})^\alpha (\eta_{ih})^\beta} & j \notin tabu_k, \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (5)$$

The probabilistic transition of ants between nodes can also be specified as a rule of node transition. The probability of passing ant  $k$  from a node  $i$  to a node  $j$  is given where  $\tau_{ij}$  and  $\eta_{ij}$  intensity of pheromones and the cost of the route between the nodes  $i$  and  $j$ , respectively. The relative values  $\tau_i$  and  $\eta_{ij}$  are controlled by the parameters  $\alpha$  and  $\beta$ , respectively. These are  $tabu_k$  unreachable routes (visited nodes) for the ant  $k$ .

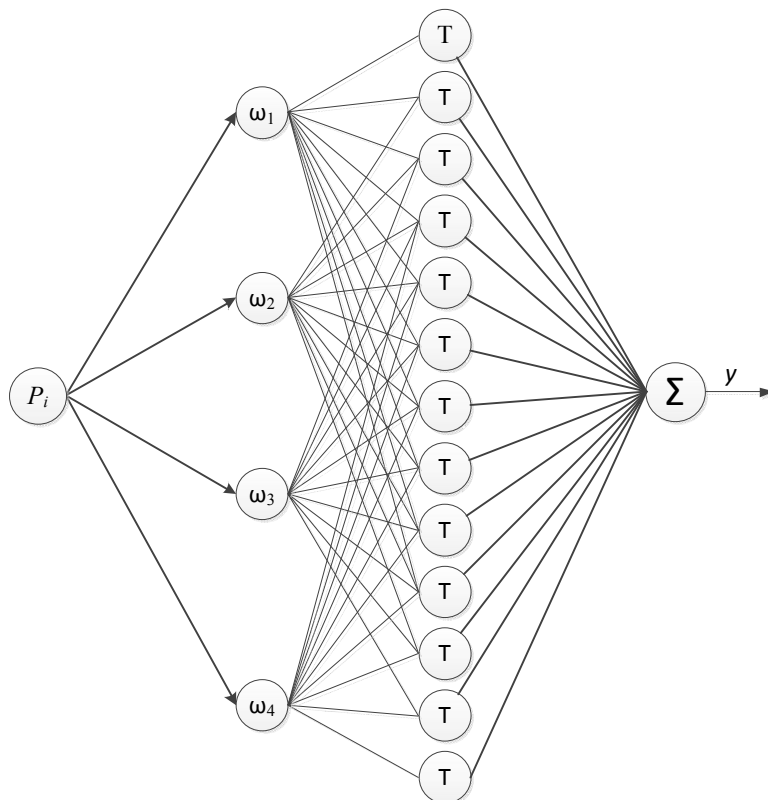


Fig. 2. Structure of a fuzzy neural network of one parameter for choosing the concentration of pheromone

$$\tau_{ij}^{new} = (1-p)\tau_{ij}^{old} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k, \quad (6)$$

where  $0 < p < 1$  is a constant parameter called the evaporation of pheromones, and  $m$  is the number of ants.

The amount of pheromone enclosed in the path between the nodes  $i$  and  $j$  ant  $k$ , is

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{f_k}, & \text{if it goes past the route } (i, j) \\ f_k, & k\text{-th ants (in the current cycle);} \\ 0, & \text{otherwise,} \end{cases} \quad (7)$$

where  $Q$  is a constant parameter and  $f_k$  is the value of the solution found from the  $k$ -th ant.

Stopping procedure - this procedure is completed by reaching a certain number of cycles or the maximum number of cycles between two improvements to the best global decisions.

### The conclusion from the article

An analysis with taking into account the analysis of work on information processing [1–24] is considered the most expedient choice of methods of the theory of fuzzy sets for the processing of information evaluation factors, since its application allows us to develop a mechanism for processing information, taking into account the mutual influence both verbally and numerically described factors presented in different assessment scales.

### REFERENCES

1. Pushpan, S., and Velusamy, B (2019). "Fuzzy-Based Dynamic Time Slot Allocation for Wireless Body Area Networks". *Sensors*, Vol. 19(9):2112, DOI: <https://doi.org/10.3390/s19092112>.
2. Hamzah, A, Shurman, M., Al-Jarrah, O. and Taqieddin, E(2019) "Energy-Efficient Fuzzy-Logic-Based Clustering Technique for Hierarchical Routing Protocols in Wireless Sensor Networks". *Sensors*, 19(3):561, DOI: <https://doi.org/10.3390/s19030561>.
3. Hu, X., Ma, L, Ding, Y., Xu, J., Li, Y. and Ma, S(2019). "Fuzzy Logic-Based Geographic Routing Protocol for Dynamic Wireless Sensor Networks". *Sensors*. 19(1):196, DOI: <https://doi.org/10.3390/s19010196>.
4. Shyshatskiy, A.V., Bashkirov, O.M. and Kostina, O.M (2015). "Development of integrated systems and data for Armed Forces", *Arms and military equipment*, No 1(5), pp. 35-40. available at: <http://journals.urau/index.php/2414-0651/issue/view/1%285%29%202015> (last accessed november 25, 2018).
5. Leabi, S.K. and Abdalla, T.Y(2016). "Energy Efficient Routing Protocol for Maximizing Lifetime in Wireless Sensor Networks using Fuzzy Logic and Immune System". *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 7, No. 10, 2016, pp: 95-101.
6. Zhuk, O.G., Shyshatskiy, A.V., Zhuk, P.V. and Zhyvotovskiy, R.M (2017). "Methodological substances of management of the radio-resource managing systems of military radio communication", *Information Processing Systems*, Vol. 5(151), pp. 16-25. <https://doi.org/10.30748/soi.2017.151.02>.
7. Romanenko, I and Shyshatskiy, A (2017). "Analysis of modern condition of military radiocommunication system", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 28-33 DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.1.05>.
8. Oubaha, J. and Ez-zahout, A(2018). "Performance Measure and Analysis of MPLS and conventional IP network through VoIP: Effect in Video and Audio transmission". *Journal of Networking Technology*, Volume 9, No. 2, pp. 56-65.
9. Sankar, S. and Srinivasan, P(2018). "Fuzzy Logic Based Energy Aware Routing Protocol for Internet of Things". *International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA)*, Vol.10, No.10, pages: 11-19, 2018, DOI: 10.5815/ijisa.2018.10.02.
10. Dhand, G. D. and Kumar, R(2019) "Devashish Ghildiyal, Rachna Jain. QoS and Fuzzy Logic Based Routing Protocol for CRN". *International Journal of Computer Networks and Applications (IJCNA)*, Vol. 6, Iss. 2, pp: 31 – 38, DOI: 10.22247/ijcna/2019/49618.
11. Jiang, J., Liu, Y., Song, F., Du, R. and Huang, M(2015) "The Routing Algorithm Based on Fuzzy Logic Applied to the Individual Physiological Monitoring Wearable Wireless Sensor Network". *Hindawi Publishing Corporation Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 2015, Article ID 546425, 7 pages, DOI: 10.1155/2015/546425.
12. Fahad, T.O. and Ali, A.A(2019). "Compressed fuzzy logic based multi-criteria AODV routing in VANET environment". *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 9, No. 1, pp: 397-401, ISSN: 2088-8708, DOI: 10.11591/ijece.v9i1.pp397-401.
13. Garga, M.K., Singhb, N. and Verma, P(2018). "Fuzzy rule-based approach for design and analysis of a Trust-based Secure Routing Protocol for MANETs". *International Conference on Computational Intelligence and Data Science (ICCIDS 2018)*, *Procedia Computer Science* 132 (2018), pp: 653–658.
14. Romanyuk, V., Sova, O., Romanyuk, A., Salnyk, S(2016). "The MANET's Hierarchical Control System Using Fuzzy Logic", *TCSET'2016*, February 23 – 26, 2016, Lviv-Slavske, Ukraine.
15. Romanyuk, V., Sova, O., Aleksenko, V.P. and Symonenko, O.A(2017). "Methodology for the construction of fuzzy knowledge bases of intelligent control systems for nodes of tactical mobile radio networks". *Collection of scientific works of MITI*, No 3, pp: 135-148.
16. Strela, T. and Romanyuk, V. (2018). "Clustering method in wireless sensor networks using fuzzy logic". *Collection of scientific works of MITI*, No. 5, pp: 210-212.
17. Salehinejad, H. and Talebi, S(2010) "Dynamic Fuzzy Logic-Ant Colony System-Based Route Selection System, *Hindawi Publishing Corporation*". *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, Vol. 2010, Article ID 428270, 13 pages, DOI:10.1155/2010/428270.
18. Shtovba, S.D(2005). "Ant Algorithms: Theory and Applications". *Programming and Computer Software*, Vol. 31, No. 4, pp: 167–178, Vol. 31, No. 4.
19. Asokan, R., Natarajan, A.M., and Venkatesh, C. "Ant Based Dynamic Source Routing Protocol to Support Multiple Quality of Service (QoS) Metrics in Mobile Ad Hoc Networks". *International Journal of Computer Science and Security*, Vol. 2, Iss. 3, pp: 48-65.

20. Zungeru, A.M., Seng, K.P., Ang, L.M. and Chia, W.C(2013). "Energy Efficiency Performance Improvements for Ant-Based Routing Algorithm in Wireless Sensor Networks". Journal of Sensors, Vol. 2013, Hindawi Publishing Corporation, Article ID 759654, 17 pages, DOI: 10.1155/2013/759654.
21. Li, Y.Q., Wang, Q.W., Fan, Q.G. and Chen, B.S(2018). "Reliable Ant Colony Routing Algorithm for Dual-Channel Mobile Ad Hoc Networks". Hindawi Wireless Communications and Mobile Computing, Vol. 2018, Article ID 4746020, 10 pages, DOI: 10.1155/2018/4746020.
22. Joseph I.C(2014). "Cognitive Ant Colony Optimization: A New Framework in Swarm Intelligence. School of Computing", Science and Engineering College of Science and Technology University of Salford, Manchester, UK, 143 pages.
23. Rothstein, O.P., Shtovba SD and Kozachko, O.M(2007). "Modeling and optimization of reliability of multidimensional algorithmic processes", Monograph, UNIVERSUM-Vinnytsia.
24. Nalapko, O.L. and Shyshatskyi, A.V(2018) "Analysis of technical characteristics of the network with possibility to self-organization". National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Scientific and Technical Journal "Advanced Information Systems", pp. 78-86. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.4.14>

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. І. Приходько,

Український державний університет залізничного транспорту, Харків

Надійшла (received) 19.04.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 29.05.2019

### **Аналіз математичного апарату для управління каналними та мережевими ресурсами систем військового радіозв'язку**

О. Л. Налапко, Р. В. Пікуль, П. В. Жук, А. В. Шишацький

Досвід проведення Операції Об'єднаних Сил (антитерористичної операції) на території Донецької та Луганської областей свідчить, що існуючий порядок управління каналними та мережевими ресурсами систем військового радіозв'язку не задовольняє сучасним вимогам, що висуваються до них. Вибір маршруту в мережах спеціального призначення з можливістю до самоорганізації на основі конкретних параметрів є головною проблемою для управління каналними та мережевими ресурсами мереж спеціального призначення, а також складною задачею сходження мережі. В зазначеній статті авторами проведено аналіз існуючого математичного апарату для управління каналними та мережевими ресурсами систем військового радіозв'язку. Під час проведення дослідження авторами статті були використані класичні методи наукового пізнання, а саме методи аналізу та синтезу, основні положення теорії зв'язку, методи моделювання мереж зв'язку, теорії штучного інтелекту та інші. Встановлено, що існуючі методи управління каналними та мережевими ресурсами систем військового радіозв'язку враховують тільки окремі чинники, що впливають на якість використання каналних та мережесв'язку ресурсів систем військового радіозв'язку. Тому найбільш доцільно проводити вибір маршруту передачі інформації за багатьма параметрами на основі нечіткої логіки та модифікованого методу системи мурашиних колоній, за допомогою якого відбувається пошук та підтримання маршруту проходження пакету між двома точками, між вузлом з якого надсилається IP пакет і вузлом призначення. Для пошуку маршруту необхідно враховувати наступні параметри: енергетична складова, швидкість передачі даних, час затримки IP пакету від вузла, що надсилає пакет до вузла призначення та надійність доставки IP пакету. Зазначені параметри доцільно врахувати при створенні математичних моделей, методів та методик управління каналними та мережевими ресурсами систем військового радіозв'язку.

**Ключові слова:** система радіозв'язку, радіоресурс, каналні та мережеві ресурси, топологія мережі, мережа зв'язку, маршрутизація.

### **Анализ математического аппарата для управления каналными и сетевыми ресурсами систем военной радиосвязи**

А. Л. Налапко, Р. В. Пикуль, П. В. Жук, А. В. Шишацкий

Опыт проведения Операции Объединенных Сил (антитеррористической операции) на территории Донецкой и Луганской областей свидетельствует, что существующий порядок управления каналными и сетевыми ресурсами систем военной радиосвязи не удовлетворяет современным требованиям, предъявляемым к ним. Выбор маршрута в сетях специального назначения с возможностью к самоорганизации на основе конкретных параметров является главной проблемой для управления каналными и сетевыми ресурсами сетей специального назначения, а также сложной задачей сходжения сети. В указанной статье авторами проведён анализ существующего математического аппарата для управления каналными и сетевыми ресурсами систем военной радиосвязи. Во время проведения исследования авторами статьи были использованы классические методы научного познания, а именно методы анализа и синтеза, основные положения теории связи, методы моделирования сетей связи, теории искусственного интеллекта и др. Установлено, что существующие методы управления каналными и сетевыми ресурсами систем военной радиосвязи учитывают только отдельные факторы, влияющие на качество использования каналных и сетевых ресурсов систем военной радиосвязи. Поэтому наиболее целесообразно проводить выбор маршрута передачи информации по многим параметрам на основе нечеткой логики и модифицированного метода системы муравьиных колоний, с помощью которого происходит поиск и поддержание маршрута следования пакета между двумя точками, между узлом с которого направляется IP пакет и узлом назначения. Для поиска маршрута необходимо учитывать следующие параметры: энергетическая составляющая, скорость передачи данных, время задержки IP пакета от узла который направляет пакет до узла назначения и надежность доставки IP-пакета. Указанные параметры целесообразно учесть при создании математических моделей, методов и методик управления каналными и сетевыми ресурсами систем военного радиосвязи.

**Ключевые слова:** система радиосвязи, радиоресурс, каналные и сетевые ресурсы, топология сети, сеть связи, маршрутизация.

Я. Я. Обіход, В. П. Лисечко, І. В. Ковтун, Ю. С. Шувалова, С. В. Сколота

Український державний університет залізничного транспорту Харків, Україна

## МЕТОДИ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ І МАСШТАБУВАННЯ В МЕРЕЖАХ БЕЗПРОВОДОВОГО ДОСТУПУ

Віртуалізація і масштабування різних процесів вже давно вбирає в себе все нові і нові галузі. Крім поширеної віртуалізації мереж, продовжують розвиватися віртуальні компанії. В якості прикладу можна привести віртуальних операторів мобільного зв'язку (MVNO), які використовують для обслуговування абонентів фактично «чужі» мережі, проте мають ряд переваг в порівнянні з традиційними операторами зв'язку. У перспективі даний підхід дасть можливість забезпечити найкраще підключення абонента в його точці присутності та використовувати віртуальні сервіси. В недалекому майбутньому мережева інфраструктура мобільного зв'язку повністю або частково перестане бути власністю операторів, а функції операторів будуть мати більшою мірою логічний характер. Перехід до подібної схеми обслуговування буде відбуватися не тільки на абонентському рівні, а й на рівні розробки відкритого програмного забезпечення, операційних систем, мережевих технологій. Подібна реорганізація потребуватиме певних часових ресурсів, адже знадобиться узгодження стандартів, модернізація обладнання, створення нового програмного забезпечення захисту інформації.

**Ключові слова:** когнітивне радіо, LTE, інфраструктура як послуга, платформа як послуга, центр обробки даних, програмне забезпечення як послуга, програмно-конфігуровані мережі, віртуалізація мережевих функцій, центр обробки даних.

### Постановка проблеми

В сучасних мережах безпроводового доступу існує ряд питань, який було вирішено частково або має складну систему рішень: зберігання даних; ізоляція всіх внутрішніх процесів; зберігання станів даних та відновлення даних в певний момент часу; гнучкий розподіл авторизації та аутентифікація; об'єднання процесів по логічним або іншим ознакам; контроль доступу та управління системами і мережами, поділ привілеїв на групи.

Виходячи з вищеописаного існує необхідність аналізу таких технологій як віртуалізація і масштабування в системах безпроводового зв'язку.

**Аналіз літератури.** Різноманітні технології віртуалізації і масштабування в системах безпроводового зв'язку розглядаються в багатьох наукових працях [1–23]. Але деякі питання задишаються за межами досліджень. Так, наприклад, в [1] не розглядається напрямок зменшення обсягів зайнятої пам'яті, а також функціональних можливостей систем віртуалізації. В [2] було знехтувано можливістю застосування хмарних технологій в системі безпроводового зв'язку LTE. В [3] не було розглянуто ключові поняття автоматизації та масштабування, а також віртуалізації мережевих функцій. В [4] немає реалізації архітектури когнітивних радіосистем з використанням хмарної архітектури. В [5] немає побудови віртуалізації ядра мережі та мережі радіодоступу.

**Метою статті** є аналіз методів віртуалізації і масштабування в мережах безпроводового доступу.

### Основний матеріал дослідження

Віртуалізація та масштабування систем вкрай важливі в сучасному мобільному зв'язку. Вони дозволяють операторам: масштабувати мережі і необхідні частотні ресурси; перерозподіляти частотні ресурси між собою; ефективно використовувати частотні ресурси; досягати максимальної відмовостійкості сервісів і послуг; застосовувати інтелектуальні

децентралізовані системи. Крім цього, віртуалізація дозволяє скоротити необхідну кількість обладнання в мережі операторів мобільного зв'язку, що дозволить знизити споживання енергії, зменшить загальні фінансові витрати, необхідні мобільним операторам для побудови власної мережевої інфраструктури.

Відповідно, основними завданнями віртуалізації мережевої інфраструктури є:

- зменшення експлуатаційних витрат;
- скорочення енергоспоживання;
- підвищення спектральної ефективності;
- можливість підтримки декількох стандартів радіо доступу на основі відкритої платформи;
- швидкий запуск нових послуг, в наслідок чого відбувається збільшення прибутку;
- покращення якості обслуговування абонентів.

Головною частиною віртуалізації є хмарна платформа, приклад архітектури якої представлено на рис. 1.

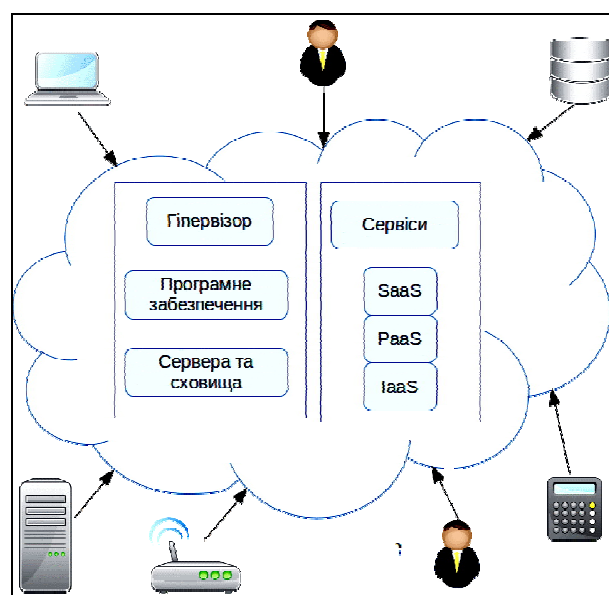


Рис. 1. Архітектура хмарних систем

Основними компонентами даної платформи є:  
 - віртуальні машини,  
 - розподілені сховища даних (для забезпечення відмовостійкості),  
 - програмне забезпечення для виконання операції в автоматичному режимі;

- система управління структурою - розподіл навантаження, масштабування і т.д;  
 - шлюз програмного забезпечення.  
 Гістограму використання користувачами загальнодоступних хмарних технологій представлено на рис. 2.

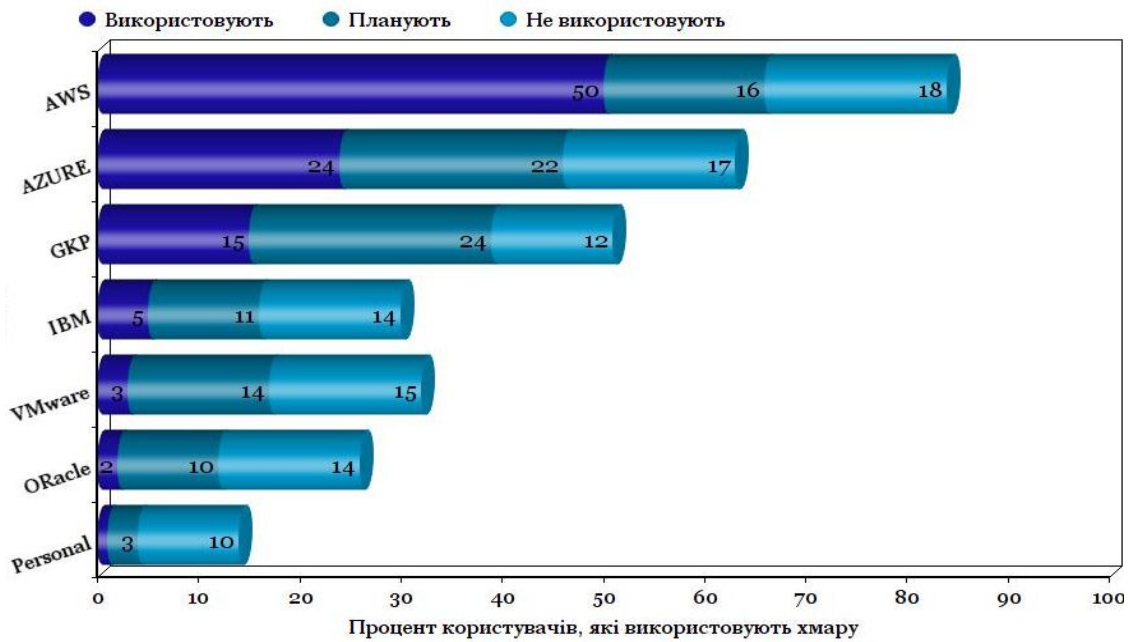


Рис. 2. Використання загальнодоступних хмарних технологій

Інфраструктура як послуга (IAAS) - надання обчислювальних ресурсів абонентам для користування. Дана модель дозволяє користувачу управляти операційними системами і програмним забезпеченням, але не має можливості управління і контролю фізичною інфраструктурою.

Платформа як послуга (PaaS) - надання послуги з метою розгортання програмного забезпечення, реалізованого на основі інструментів, які підтримуються провайдером. Користувач не має можливості управляти хмарною інфраструктурою, а саме системою зберігання даних, операційною системою і т.д.

Програмне забезпечення як послуга (SaaS) - Основною складовою хмарної структури є хмарні послуги, котрі можна виразити в трьох формах: надання послуг як інфраструктури, платформи і програмного забезпечення надання послуг у вигляді програмного забезпечення, розгорнутих в хмарній інфраструктурі провайдера. Програмне забезпечення може бути доступним для різних, призначених для користувача, пристроїв але керувати параметрами роботи і налаштувати програмне забезпечення користувачу буде заборонено.

Абонент, в залежності від власних потреб, обирає відповідну модель обслуговування. Якщо користувач вибирає SaaS, він отримує деякі можливості по управлінню налаштуваннями, але обслуговування самої послуги провайдер хмарної інфраструктури здійснює самостійно. Це позбавляє користувача від додаткових витрат на технічне обслуговування.

Найбільш актуальні технології, що допомагають провайдерам з модернізацією і спрощенням ме-

режі, є віртуалізація мережесих функцій (NFV) і програмно-конфігуровані мережі (SDR). Вони мають ряд переваг, зокрема, швидкий запуск нових послуг на ринок (TVO) та скорочення витрат (TCO).

Основною ідеєю програмно-визначених мереж є відділення рівня передачі трафіку (Data Flow) від рівня управління (Control Plane) [1]. У SDN функції управління трафіком винесені з мережесих пристроїв на загальний контролер. На комутаторах і маршрутизаторах залишилося тільки налаштування по передачі абонентського трафіку (рис. 3).

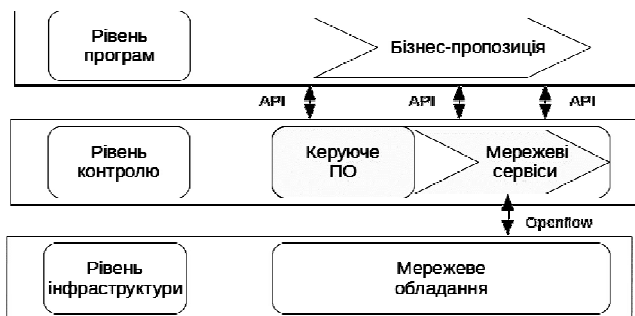


Рис. 3. Структура SDN

Ключовим елементом концепції SDN є протокол управління процесом обробки даних, який реалізує взаємодію контролера з мережесими пристроями. За допомогою контролера вся мережа, що складається з пристроїв різних виробників, представляється для сервісу як один логічний комутатор. SDN реалізує інтерфейс прикладного програмування (API), який дозволяє змінювати контролер ззовні,



визначаючи середу для автоматизації, контролю якості та масштабування. До основних переваг SDN можна віднести:

- мінімізацію часу запуску додатків;
- збільшення надійності і безпеки мережі;
- централізоване управління;
- зменшення витрат на управління мережевими ресурсами;

Важливою складовою віртуалізації процесів є віртуалізація мережесих функцій (NFV), основним

завданням якої є реалізація функції управління мережами і надання послуг програмним шляхом, замість використання окремого обладнання. Технологія NFV дозволяє декільком операторам задіяти одну й ту ж саму мережеву інфраструктуру (рис. 4). Такий підхід дозволяє істотно спростити реалізацію віртуальних мобільних операторів (MVNO).

Існує можливість віртуалізації як ядра мережі (наприклад EPC/SAE), так і самої мережі радіодоступу (RAN) [3] (рис. 5).

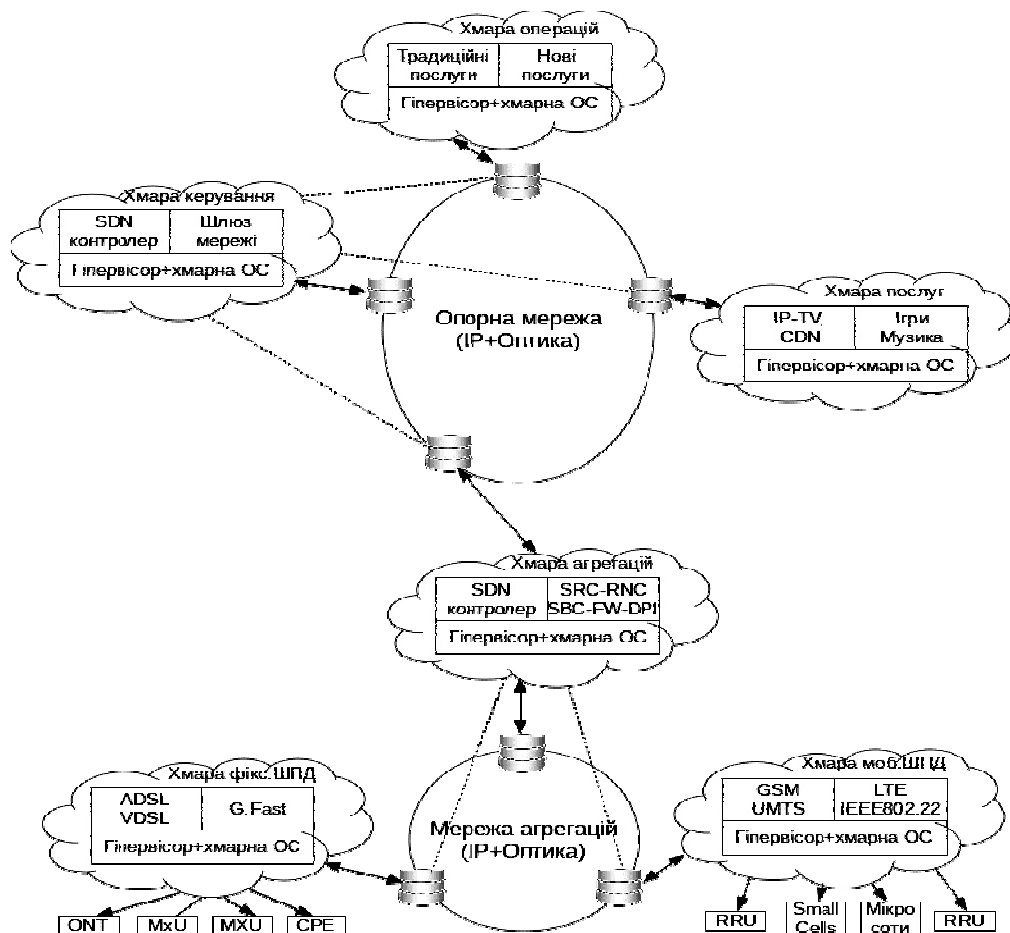


Рис. 4. Узагальнена хмарна архітектура мережі оператора зв'язку на основі SDN / NFV

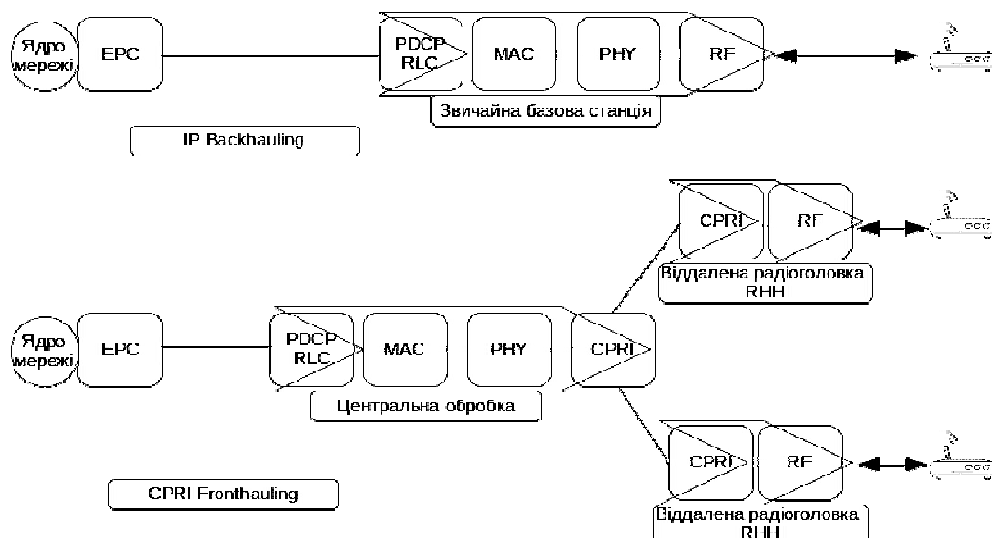


Рис. 5. Реалізація архітектури хмарної інфраструктури RAN

У зв'язку з тим, що ядро мережі має меншу кількість мережевих елементів, його віртуалізація є більш простим рішенням. Віртуалізація RAN є найбільш трудомістким процесом, але може принести більше користі з точки зору ефективності розгортання і управління мережею (наприклад, функції Smart Cell). Дане рішення дозволяє істотно спростити координацію радіочастотного ресурсу між сотами. З точки зору взаємодії базових станцій між собою, одними з найголовніших технологій є координація прийому і передачі (COMP), подвійне з'єднання (Dual Connectivity) та координація перешкод (eICIC). На підставі вимог до кожного віртуального оператора може бути укладено відповідний контракт, що їх задовольняє. В межах даної структури постачальникам інфраструктури запропоновано чотири різні типи контракту:

1. Фіксовані гарантії: за оператором закріплена фіксована смуга частот незалежно від того, використовує він її чи ні;

2. Динамічні гарантії: оператор отримує в розпорядження смугу частот згідно з його фактичної потреби.

3. Мінімальна гарантія: оператор отримує мінімальну гарантовану смугу частот, яка буде виділена в будь-якому випадку.

4. Мінімальна гарантія без гарантій: оператору присвоюється будь-яка доступна в даний момент смуга частот, при цьому оператор всередині своєї мережі не гарантує швидкісні показники і якість обслуговування при передачі трафіку.

Гіпервізор використовує значення оцінки необхідної пропускну здатності для виділення спектра кожному віртуальному оператору. В контактах типу 2 ця оцінка буде служити фактичною виділеною смугою для оператора, верхнє значення смуги буде обмежено спектром. Для типу 3 і 4 гіпервізор спочатку виділяє фізичні ресурси (PRB) операторам контракту типу 3, а потім розподіляє між операторами типу 4. Розподіл частотного спектру засновано на чинник справедливості, який розраховується наступним чином:

$$F_i = E_i(N) / E_{total} \quad (1)$$

де  $F_i$  – чинник справедливості оператора  $i$ ,  $E_i(N)$  – оцінка PRB оператора  $i$ ,  $E_{total}$  – максимальне значення оцінки PR по всім операторам,

$$E_{total} = \sum_{i=1}^K E_i(N) \quad (2)$$

Кількість PRB, виділених для кожного віртуального оператора розраховується наступним чином:

$$PRBsAlloc_i = \text{int}(FixLeftPRBs), \quad (3)$$

де  $\text{int}$  - цілочисельна функція,  $LeftPRBs$  – це число PRB, залишених для операторів, що мають контракт типу 1 з фіксованими гарантіями.

## Висновки

В статті було проаналізовано архітектуру хмарних систем, яка використовує хмарні ресурси. Аналіз показав, що ресурси AWS використовують більш 50 відсотків абонентів.

Було розглянуто реалізацію архітектури хмарної інфраструктури RAN яка дозволяє реалізувати гнучкий розподіл авторизації та аутентифікація.

Під час дослідження було розглянуто архітектуру SDN з використанням мережевих команд, яка дозволяє розглядати збереження даних на програмному рівні. При аналізі конфігурації було запропоновано узагальнену хмарну архітектуру зв'язку на основі SDN / NFV. До основних переваг такого виду хмарної архітектури можна віднести:

- швидке розгортання мереж і додатків;
- гнучке поєднання кількох мережевих функцій на одній платформі;
- зменшення витрат на мережеве обладнання.

Також така структура дозволяє відновити данні в певний момент часу.

Також, під час дослідження було запропоновано реалізацію хмарної архітектурної інфраструктури RAN, яка дає можливість у повному обсязі або частково вирішити питання:

- контролю доступу та керування системами та мережами, подібними до групи;
- ізоляції всіх внутрішніх процесів.
- дозволяє реалізувати гнучкий розподіл авторизації та аутентифікації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рыжков А.Е., Сиверс М.А., Воробьев В.О., Гусаров А.С., Слышков А.С., Шуньков Р.В. Системы и сети радиодоступа 4G: LTE, WiMax. – СПб: Линк, 2012. – 98-106 с.
2. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура. – М: Экотрендз, 2010.– 205-214 с.
3. Gibson J. D. (Ed.). The mobile communications handbook. CRC Press -IEEE Press. 1996., P. 203-214.
4. Y. C. Liang, K. C. Chen, G. Y. Li, and P. Mahonen, "Cognitive radio networking and communications: an overview," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 60, no. 7, pp. 215–241, 2011.
5. Y. Saleem and M. H. Rehmani, "Primary radio user activity models for cognitive radio networks: a survey," Journal of Network and Computer Applications, vol. 43, pp. 34–45, 2014.
6. Кучук Г.А. Метод оценки характеристик АТМ-трафика / Г.А. Кучук // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті, – 2003. – № 6. – С. 44–48.
7. Кучук Г. А., Можаяев О. О., Воробйов О. В. Метод агрегування фрактального трафіка. Радіоелектронні та комп'ютерні системи. 2006. № 6 (18). С. 181–188.
8. Saravana, Balaji B., Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), "Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446.
9. Кучук Г. А. Фрактальный гауссовский шум в трафиковых трассах / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – 2004. – № 3(31). – С. 91-100.

10. Кучук Г.А. Аналіз та моделі самоподібного трафіка / Г.А. Кучук, О.О. О.В. Можаяв, Воробійов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – Вып. 9 (35). – С. 173-180.
11. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of TCP Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
12. Gomathi, B, Karthikeyan, N.K. and Saravana, Balaji B., (2018), “Epsilon-Fuzzy Dominance Sort Based Composite Discrete Artificial Bee Colony optimization for Multi-Objective Cloud Task Scheduling Problem”, *International Journal of Business Intelligence and Data Mining*, Vol. 13, Issue 1-3, pp. 247-266, DOI: <https://doi.org/10.1504/IJBIDM.2018.088435>
13. Sivaram, M., Batri, K., Amin Salih, Mohammed and Porkodi V. (2019), “Exploiting the Local Optima in Genetic Algorithm using Tabu Search”, *Indian Journal of Science and Technology*, Volume 12, Issue 1.
14. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies*. 2015. P. 266-271.
15. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81.
16. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113. – DOI : <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110>
17. 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.
18. 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.
19. Sivaram, M., Yuvaraj, D., Amin Salih, Mohammed, Porkodi, V. and Manikandan V. (2018), “The Real Problem Through a Selection Making an Algorithm that Minimizes the Computational Complexity”, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, Vol. 8, iss. 2, 2018, pp. 95-100.
20. Sivaram, M., Porkodi, V., Mohammed, A.S., Manikandan V. Detection of Accurate Facial Detection Using Hybrid Deep Convolutional Recurrent Neural Network. *ICTACT Journal on Soft Computing*. 2019. Vol. 09, Issue 02. pp. 1844-1850.
21. Mohammed, A. S. Optimal Forecast Model for Erbil Traffic Road Data. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2017. Vol. 29, No 5. P. 137–145. DOI: <https://doi.org/10.21271/ZJPAS.29.5.15>
22. Amin Salih M., Yuvaraj D., Sivaram M., Porkodi V. Detection And Removal Of Black Hole Attack In Mobile Ad Hoc Networks Using Grp Protocol. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*. Vol. 9, No 6. P. 1–6.
23. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С. І. Приходько,

Український державний університет залізничного транспорту, Харків

Надійшла (received) 26.04.2019

Прийнята до друку (accepted for publication) 05.06.2019

### Методы виртуализации и масштабирования в сетях беспроводного доступа

Я. Я. Обиход, В. П. Лисечко, І. В. Ковтун, Ю. С. Шувалова, С. В. Сколота

Виртуализация и масштабирования различных процессов уже давно впитывает в себя все новые и новые отрасли. Кроме распространенной виртуализации сетей, продолжают развиваться виртуальные компании. В качестве примера можно привести виртуальных операторов мобильной связи (MVNO), которые используют для обслуживания абонентов фактически «чужие» сети, однако имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными операторами связи. В перспективе данный подход позволит обеспечить наилучшее подключения абонента в его точке присутствия и использовать виртуальные сервисы. В недалеком будущем сетевая инфраструктура мобильной связи полностью или частично перестанет быть собственностью операторов, а функции операторов будут иметь в большей степени логический характер. Переход к подобной схеме обслуживания будет происходить не только на абонентском уровне, но и на уровне разработки открытого программного обеспечения, операционных систем, сетевых технологий. Подобная реорганизация потребует определенных временных ресурсов, ведь понадобится согласование стандартов, модернизация оборудования, создание нового программного обеспечения защиты информации.

**Ключевые слова:** когнитивное радио, LTE, инфраструктура как услуга, платформа как услуга, центр обработки данных, программное обеспечение как услуга, программно-конфигурируемые сети, виртуализация сетевых функций, центр обработки данных.

### Methods of virtualization and scaling in wireless access networks

Y. Obikhod, V. Lysechko, I. Kovtun, Y. Shuvalova, S. Skolota

Virtualization and scaling of various processes have long been absorbing new areas. In addition to the widespread virtualization of networks, virtual companies continue to evolve. As an example, the virtual mobile operators (MVNOs) are used to service subscribers actually "alien" networks, but have a number of advantages in comparison with traditional operators. In the future, this approach will provide the opportunity to provide the best subscriber connection at its connection point and use virtual services. In the near future, the network infrastructure of mobile communication will cease to be the property of operators in whole or in part, and the functions of operators will be more logical. The transition to a similar scheme of service will occur not only at the subscriber level, but also at the level of development of open source software, operating systems and network technologies. Such reorganization will require some time resources, since standardization, hardware upgrades, and the creation of new information security software will be required.

**Keywords:** cognitive radio, LTE, infrastructure as a service, platform as a service, data center, software as a service, software-configurable networks, virtualization of network functions, data center.

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Альошин С. П.	76, 84	Ковтун І. В.	171	Нескородєва Т. В.	126
Артеменко А. М.	31	Козелков С. В.	161	Нечволод К. В.	131
Березіна С. І.	3	Кононов Б. Т.	38	Обіход Я. Я.	171
Бородіна О. О.	76, 84	Кононов В. Б.	43	Ольховіков Д. С.	43
Бречко В. О.	99	Кочина А. А.	58	Очеретенко С. В.	72
Бурдейна В. М.	25	Кременецька Я. А.	161	Пікуль Р. В.	166
Власов А. В.	131	Кудріна В. Ю.	72	Подліпаєв В. О.	135
Гавриленко С. Ю.	80	Кузнецов О. Л.	31	Проценко А. А.	143
Гафіяк А. М.	76, 84	Кучук Г. А.	115	Северінов О. В.	131
Голованов Д. С.	89	Кучук Н. Г.	120	Сколота С. В.	167
Голованова М. А.	89	Куян О. Є.	38	Собчук В. В.	120
Гордійчук В. В.	19	Леонов С. Ю.	99	Соломоненко Ю. С.	3
Грінченко Г. С.	25	Лещинська І. О.	152	Спиркін Є. В.	8
Денисенко А. М.	25	Лещинський В. О.	152	Тихенко О. М.	152
Дмитрієнко В. Д.	99	Лис Ю. С.	25	Тугузян Е. Р.	43
Дяченко-Богун А. О.	84	Лисечко В. П.	171	Хижняк І. А.	3
Жук П. В.	166	Лукова-Чуйко Н. В.	120	Худов Г. В.	3
Іванов В. Г.	143	Любий Є. В.	63	Чалий С. Ф.	156
Ічанська Н. В.	104	Ляшенко О. С.	115	Чижик В. М.	63
Кальченко В. В.	110	Маковейчук О. М.	3	Шефер О. В.	76
Карлов А. Д.	31	Мельник Ю. В.	161	Шишацький А. В.	166
Карлов В. Д.	31	Мусаїрова Ю. Д.	38	Шувалова Ю. С.	171
Коваленко А. А.	115	Наконечний О. В.	48		
Ковбан С. В.	63	Налапко О. Л.	166		

Наукове видання

## СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 3 (55)

Відповідальна за випуск *К. С. Козелкова*Технічний редактор *Т. В. Уварова*Коректор *О. В. Морозова*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*Оформлення обкладинки *І. В. Львіна*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 19512-93/2ПР від 16.11.2012 р.

Підписано до друку 24.06.2019. Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 22,0. Тираж 150 прим. Зам. 621-19

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.  
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.  
Запис № 24800000000106167 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)