



# СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

1(47) ' 2018

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 (канд. 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)

ІЛЬІН Олег Юрійович (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 Олексійович (д-р техн. наук, проф., Україна)

ЧОРНИЙ Олексій Петрович (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 № 10 від 08 лютого 2018 року)*

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

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

## З М І С Т

### НАВІГАЦІЯ

<i>Андрєєв С.М., Жилін В.А., Топчий А.С.</i> Методика застосування бібліотек комп'ютерного зору для побудови картографічних моделей .....	3
<i>Беронік П.Г., Шапран Ю.С.</i> Імітаційна модель впливу точності оцінки коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних систем на достовірність контролю апаратури радіонавігації морського транспорту .....	8
<i>Ostroumov I.V.</i> DME/DME and VOR/DME positioning errors estimation .....	12

### КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО ТА ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Мальцев О.С.</i> Аналіз інформаційної спроможності кооперативних систем спостереження .....	17
<i>Могілатенко А.С., Обідін Д.М., Кондратенко О.П., Руденко В.М.</i> Забезпечення радіолокаційною інформацією регіональних центрів управління повітряним рухом .....	21
<i>Оберемок С.О.</i> Модель обробки пакетів в комутаційних вузлах з повнозв'язною топологією мережі АСУ повітряним рухом .....	28
<i>Обод І.І., Стрельницький О.О.</i> Інтегральний показник якості захисту інформації в мережі систем спостереження повітряного простору .....	32
<i>Павленко М.А., Балакірева С.М., Петров О.В.</i> Розробка критерію вибору достовірних значень узагальнених характеристик повітряних об'єктів .....	36

### УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Karlov V.D., Lukashuk O.V., Besova O.V.</i> To question of development of radio electronic fight in the armed conflicts of contemporaneity .....	40
<i>Вишнівський В.В., Бондарчук А.П., Катков Ю.І., Серих С.О.</i> Оцінка процесів функціонально-структурної реорганізації організаційно-технічної системи .....	44
<i>Єрмілова Н.В., Гаврилко Є.В., Кислиця С.Г.</i> Моделювання та дослідження електропривода поворотної платформи однокішєвих екскаваторів .....	48
<i>Луцишин А.М., Степанов Г.С., Костюк І.А.</i> Проблеми визначення управління протиповітряною обороною під час проведення операції збройних сил .....	52
<i>Одокиєнко А.В.</i> Обоснование оптимальности операции деления оценок шумовых температур на смежных интервалах наблюдения в радиометре с нестабильным коэффициентом усиления .....	59
<i>Shefer O.V.</i> Synthesis of adaptive algorithm of compensation of nonlinear distortions of radio devices .....	64

### МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

<i>Дубницький В.Ю., Кобылин А.М., Кобылин О.А.</i> Вычисление энтропии случайной величины, параметры которой заданы в интервальном виде в системе центр-радиус .....	69
<i>Лютенко В.Є., Яковенко А.М.</i> Математична модель для дослідження механізму привода ротора роторного екскаватора EP-315 .....	74
<i>Pankratova Yu.Ye., Khlud O.M., Patsuk V.M.</i> Packing of ellipsoids in a convex container .....	80
<i>Петровський О.М., Гаврилко Є.В., Петровська Д.О., Сідоров С.Є.</i> Математичне моделювання та програмна реалізація розрахунку теплових режимів сучасних процесорів .....	84

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Бабіч С.М., Гриньов Д.В.</i> Метод класифікації запитів інформаційного сервісу підприємства .....	89
<i>Гороховатський В.О., Пупченко Д.В., Солодченко К.Г.</i> Аналіз властивостей, характеристик та результатів застосування новітніх детекторів для визначення особливих точок зображення .....	93
<i>Гринев Д.В., Бойко Д.С., Голуб М.А.</i> Использование веб-сайтов и социальных сетей в электронной коммерции .....	99
<i>Ільїна І.В., Кадубенко Д.С., Ільїн Д.О.</i> Підвищення продуктивності систем управління базами даних .....	105
<i>Коваленко А.А., Кучук Г.А.</i> Сучасний стан та тенденцій розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування .....	110
<i>Коваленко А.В.</i> Имитационная модель технологии тестирования безопасности Web-приложений .....	114
<i>Кучук Н.Г., Лукова-Чуйко Н.В.</i> Ефективність управління ресурсами e-learning в гіперконвергентному середовищі .....	123
<i>Лада Н.В., Козловська С.Г.</i> Застосування операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки в потокових шифрах .....	127
<i>Мелешко Є.В., Семенов С.Г., Хох В.Д.</i> Дослідження методів побудови рекомендаційних систем в мережі Інтернет ..	131
<i>Свиридов А.С.</i> Метод підбору алгоритмів для розпізнавання зображень .....	137
<i>Сисоєнко С.В.</i> Оцінка швидкості реалізації групового матричного криптографічного перетворення .....	141
<i>Хижняк І.А., Маковейчук О.М., Худов В.Г., Рубан І.В., Худов Г.В.</i> Тематичне сегментування зашумленого оптико-електронного зображення ройовим методом .....	146
<i>Щапов П.Ф., Томашевський Р.С., Ткачук Б.В., Павлюк В.М.</i> Інформаційна технологія статистичного управління процедурою ультрафільтрації при програмному гемодіалізі .....	153

### ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

<i>Іванець Г.В., Толкунов І.О., Стецюк Є.І.</i> Модель прогнозування необхідних коштів в резервному фонді державного бюджету для ліквідації наслідків від надзвичайних ситуацій .....	160
<i>Караєва Н.В.</i> Методологічні аспекти та програмні засоби оцінки ризику здоров'ю населення при несприятливому впливі факторів навколишнього середовища .....	164
<i>Резнік Д.В., Чорний О.П., Зачепа Ю.В., Ченчевой В.В., Богодист А.О., Вовк О.О.</i> Екранування як засіб нормалізації електромагнітної обстановки робочого середовища .....	170
<i>Чернявський І.Ю., Тютюник В.В., Калугин В.Д., Бильк З.В., Матькин В.Б.</i> Использование результатов при разработке теоретических и методологических основ построения системы радиационного мониторинга чрезвычайных ситуаций военного характера .....	176

### АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАВЧАННЯ

<i>Гадецька С.В., Філатова Л.Д.</i> Методичні особливості викладання теорії ігор в контексті підвищення праксеологічного рівня якості економічної освіти .....	185
<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	189

С.М. Андреев, В.А. Жилін, А.С. Топчий

*Національний аерокосмічний університет імені Н.С. Жуковського «ХАІ», Харків*

## МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ БІБЛІОТЕК КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ПОБУДОВИ КАРТОГРАФІЧНИХ МОДЕЛЕЙ

*Представлена методика застосування бібліотек комп'ютерного зору для побудови картографічних моделей. Розкриті особливості роботи із типами даних на мові Python, а також побудована класифікація бібліотек мови Python. Розроблена методика також пропонується у вигляді структурної схеми для країної її візуалізації та спрощення розуміння взаємодії основних етапів роботи при побудові картографічних моделей.*

**Ключові слова:** картографія, типи та формати даних, комп'ютерний зір, програмний ГІС-пакет.

### Актуальність та постановка задачі

У структурах сучасних ГІС-пакетів обов'язково присутні різні за типами засоби розробки. На сьогоднішній день існує безліч ГІС-пакетів для обробки даних систем ДЗЗ: ArcGIS, Панорама, Erdas Imagine, QGIS, MapInfo, Quantum GIS, тощо. Всі провідні ГІС мають інструменти для вирішення прикладних ГІС-задач. При цьому під конкретні вимоги користувачів існує необхідність модифікувати кожен ГІС-пакет. Модифікація ГІС-пакетів залежить від засобів розробки конкретної ГІС-системи. Засоби розробки ArcGIS містять у собі Esri Developer Network, який в свою чергу складається з ArcGIS Engine і ArcGIS Runtime.

До засобів розробки також відносять кастомізацію ArcGIS for Desktop, оскільки алгоритми автоматизації обробки даних знаходяться в безперервному процесі модернізації. Додаткові модулі ArcGIS for Desktop реалізуються на мові Python і зручно можуть бути впроваджені в інтерфейс програмного забезпечення ArcGIS. Таким чином поліпшуються засоби та швидкість вирішення прикладних ГІС-задач. Отже, конкретні вимоги користувача можуть бути оптимально задоволені. Продукти середовища Python органічно інтегруються в ArcGIS — це призводить до того, що фахівці ГІС можуть виступати в якості розробників додаткових модулів. Мова програмування Python є безкоштовним відкритим засобом, що сприяє зниженню витрат на удосконалення існуючих ГІС-пакетів, а також збільшення робочих місць серед розробників ГІС-додатків.

Python — потужна та проста для вивчення мова програмування. У ній надано опрацьовані високорівневі структури даних і простий, але ефективний підхід до об'єктно-орієнтованого програмування.

Поєднання витонченого синтаксису та динамічної типізації, сумішених із сутністю інтерпретації програмних кодів, робить Python ідеальною мовою

для написання сценаріїв та прискореної розробки додатків у різних середовищах розробки й на більшості операційних платформ.

Актуальність даної роботи полягає у якісно новому підході до розробки методики побудови картографічної моделі з використанням бібліотеки комп'ютерного зору і середовища Python.

Метою даної роботи є покращення інформаційних можливостей розробників програмного забезпечення для вирішення тематичних ГІС-задач у відповідності до вимог замовників.

Предметом дослідження є методика побудови картографічної моделі із використанням бібліотек комп'ютерного зору та середовища Python.

Об'єктом дослідження є процес обробки цифрових космічних знімків засобами систем комп'ютерного зору в середовищі Python.

### Результати досліджень

**Попередній аналіз середовища Python.** Python — це мова програмування високого рівня із динамічною типізацією, автоматичним управлінням пам'яттю, із зручними високорівневими структурами даних, такими як словники (хеш-таблиці), списки, кортежі. Велика частина реалізацій Python — інтерпретатори. При цьому Python підтримує класи, модулі (які можуть бути об'єднані в пакети), обробку винятків, а також багатопотокові обчислення. Python має простий і виразний синтаксис. Мова підтримує кілька парадигм програмування: структурне, об'єктно-орієнтоване, функціональне і аспектно-орієнтоване. Python придатний для більшості активно використовуваних платформ. Він поширюється вільно під дуже ліберальною ліцензією, що дозволяє використовувати його без обмежень в будь-яких додатках. При цьому справедливо буде зауважити, що без наявності хоча б теоретичних знань про об'єктно-орієнтоване програмування, знайомство з Python буде ускладне-

но. Однак, у Python є й недолік — з його допомогою надзвичайно легко передавати найпростішу інформацію, проте не досить зручно висловлювати складні конструкції. В цілому, Python є мовою загального призначення, тому може застосовуватися практично в будь-якій області розробки програмного забезпечення (ПЗ). Стандартні модулі розширення Python — це відмінно спроектована і неодноразово перевірена функціональність для вирішення завдань, що виникають в кожному проекті з розробки ПЗ, обробки рядків і текстів, взаємодія з операційною системою, підтримка Web-додатків. Модулі, що це забезпечують, також написані на мові Python, тому середовище Python має його найпривабливішу властивість — кросплатформеність. Модулі розширення для Python можна створювати не тільки на самій мові Python, але й за допомогою інших мов програмування. У цьому випадку з'являється можливість більш ефективної реалізації ресурсомістких завдань, наприклад, складних наукових обчислень, однак втрачається перевага кросплатформеності, якщо мова модуля розширення не є сама по собі кросплатформеною, як Python.

**Типи даних Python.** Python представляє найбільш типові структури даних, такі як: список, кортеж, словник. Кортеж має незмінну впорядковану

послідовність даних. У ньому можуть міститися елементи різних типів, наприклад, інші кортежі. Кортеж визначається в круглих дужках, а його елементи розділяються комами. Список — це змінна впорядкована послідовність елементів. Елементи списку також розділяються комами, але задаються вже в квадратних дужках. Словник є хеш-таблицею, що зберігає елемент разом з його ідентифікатором-ключем. Послідовний доступ до елементів виконується теж по ключу, тому одиниця зберігання в словнику — це пара об'єкт-ключ і пов'язаний з ним об'єкт-значення. Словник — це змінна, але не впорядкована колекція, так що порядок елементів в словнику може змінюватися з часом. Задається словник в фігурних дужках. У даній роботі розроблена структура взаємодії бібліотек Python за форматами даних яка представлена на рис. 1.

**Аналіз комп'ютерних бібліотек, що придатні для взаємодії із мовою програмування Python.** OpenCV (Open Source Computer Vision Library) – це бібліотека комп'ютерного зору, яка поставляється з відкритим вихідним програмним кодом. Спектр можливостей даної бібліотеки дуже широкий. У ній зібрано велику кількість алгоритмів для використання технологій комп'ютерного зору.

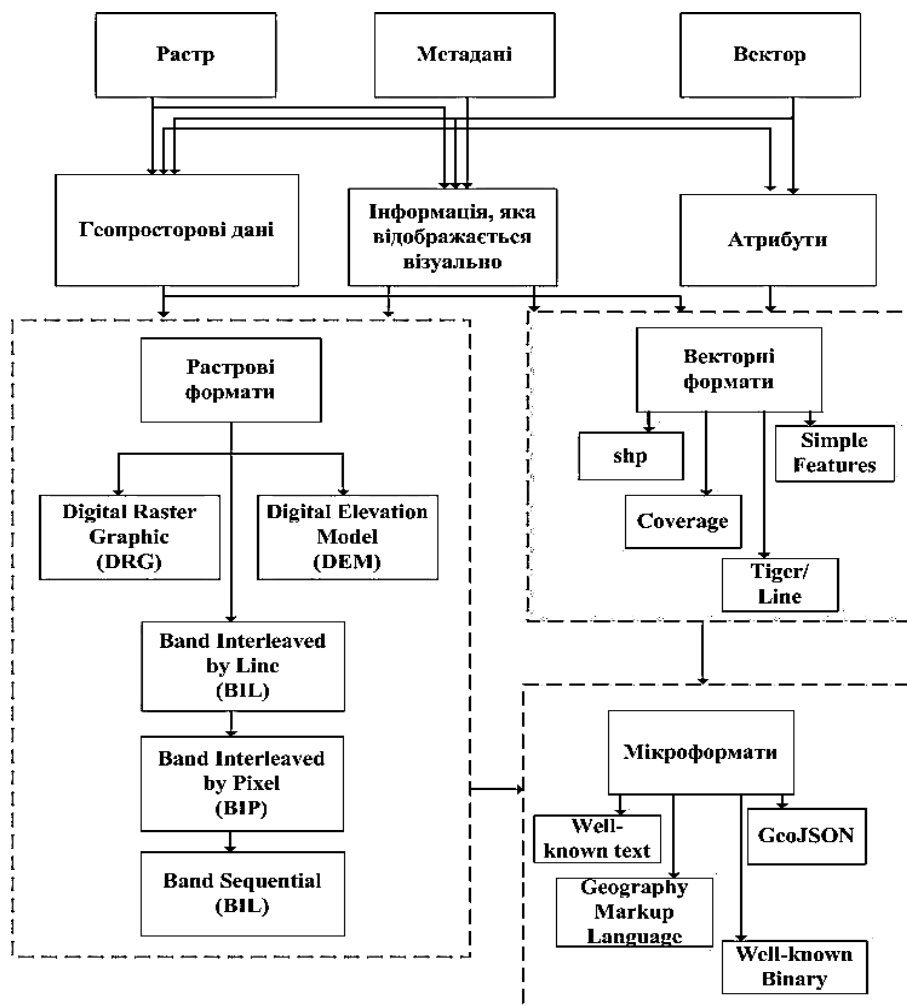


Рис. 1. Структура взаємодії бібліотек Python за форматами даних



OpenCV застосовується для "зшивання" супутникових карт, зменшення шуму медичних зображень, вирівнювання сканованих знімків, аналізу різноманітних фото- та відео-об'єктів, для систем виявлення вторгнення, автоматичного моніторингу і контролю, калібрування відеокамер, в додатках для забезпечення функціонування безпілотних наземних, літальних та підводних апаратів.

Утиліти командного рядку, що входять до складу бібліотеки GDAL, широко використовуються для виконання різноманітних завдань. GDAL — це вільна бібліотека для роботи з растровими даними. Для того, щоб виконати перепроєктування, поєднання растрів, обрізки растрів, геотрансформацію, отримати інформацію про кількість каналів растра, вилучити дані та метадані, — встановлюється 15

бібліотека GDAL. Для розрахунку коефіцієнта глобальної кореляції, локальної кореляції і класифікації зон, використовується бібліотека NumPython. Бібліотека NumPython перетворює Python у вільний та більш потужний еквівалент системи. Бібліотека виконує реалізацію матричних та 16 векторних операцій, а також багатьох чисельних алгоритмів.

Matplotlib — бібліотека на мові програмування Python для візуалізації даних двовимірної та тривимірної графіки. Одержувані зображення можуть бути використані у якості ілюстрацій в картографічних публікаціях.

На рис. 2 представлена розроблена структурна схема бібліотек, що використовуються у середовищі мови програмування Python при роботі із геопросторовими даними.

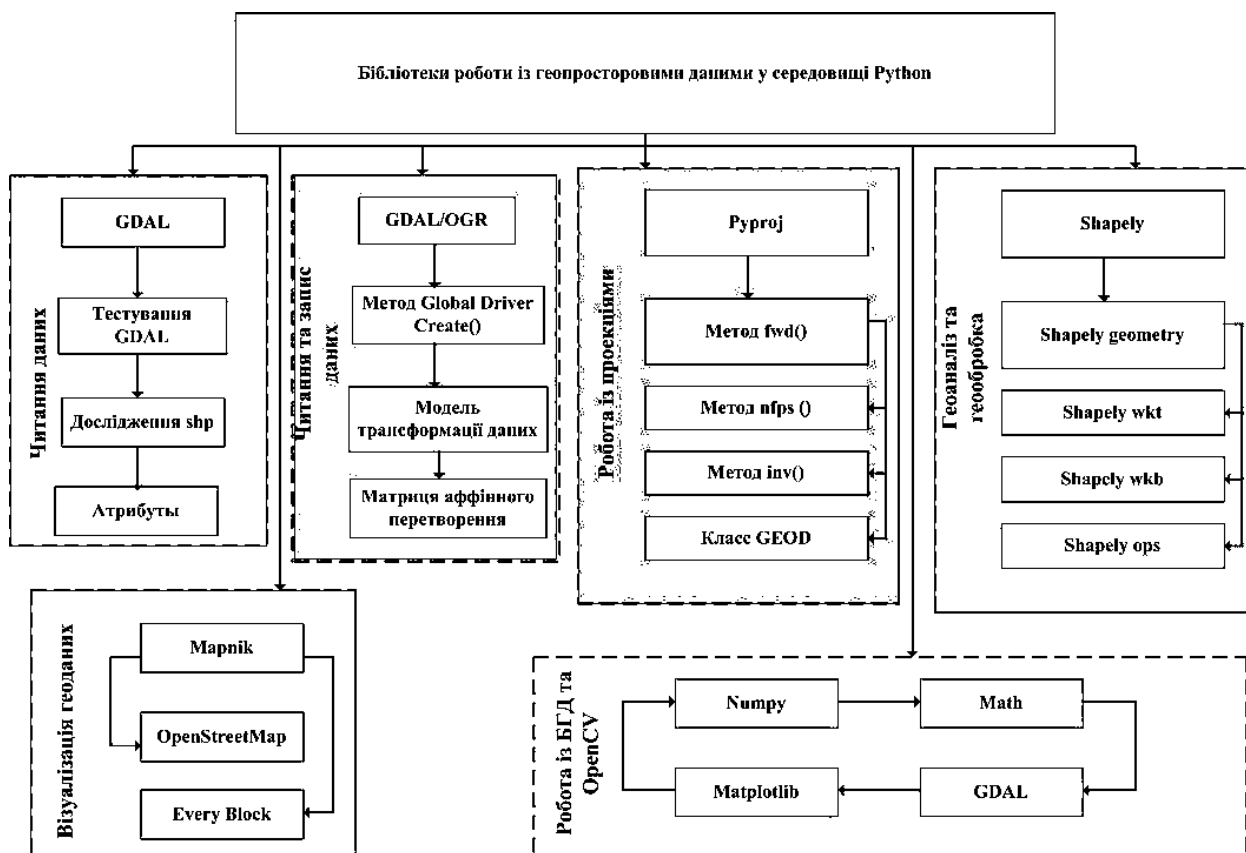


Рис. 2. Структурна схема бібліотек Python, що використовуються при роботі із геопросторовими даними

**Методика побудови картографічної моделі із застосуванням середовища Python та бібліотеки OpenCV.** Для того, щоб розробити методику побудови картографічної моделі з використанням середовища Python і бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV, необхідно провести дослідження структури та архітектури мови програмування. Також слід враховувати особливості парадигми мови програмування.

Python має набір безлічі функціональних бібліотек, які можуть бути швидко та ефективно використані для вирішення прикладних ГІС-задач. Для наглядного представлення методика, що пропонується, представлена у вигляді структурної схеми на рис. 3.

**Практичне використання методики побудови картографічних моделей із застосуванням середовища Python та бібліотеки OpenCV.** Після того, як дані дистанційного зондування Землі отримано, необхідно виконати первинну обробку знімків, до складу якої входить геометрична корекція, а також корекція яскравості супутникового зображення. Геометрична корекція вбачає афінні, тобто лінійні методи. Корекція яскравості містить просторову фільтрацію, адаптивну фільтрацію, фільтрацію, що виділяє межі елементів на супутниковому зображенні, а також застосування операторів Лапласа та перетворення Фур'є.

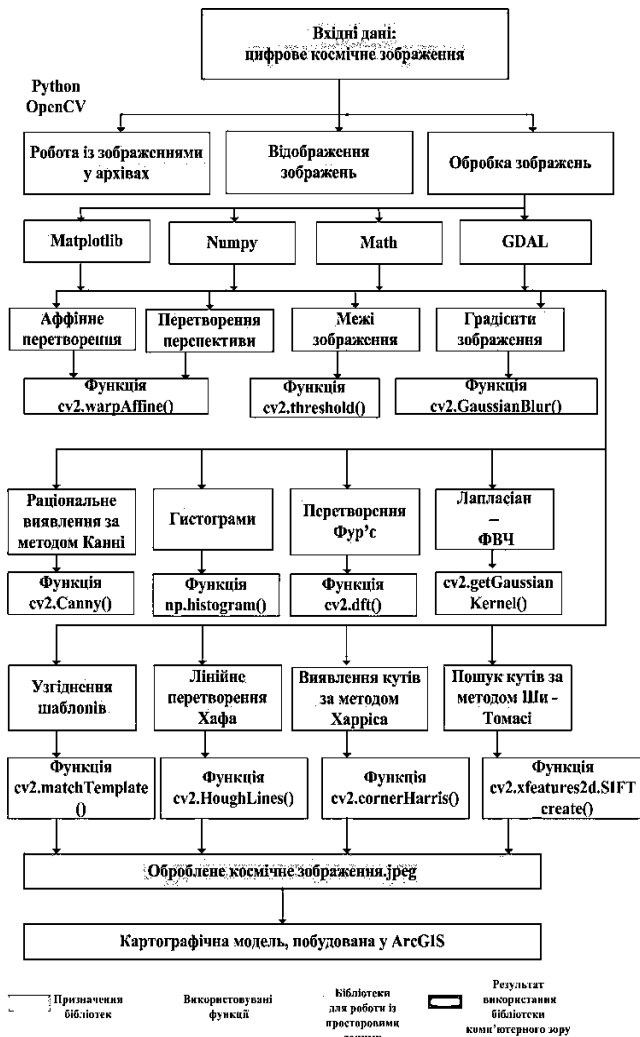


Рис. 3. Методика застосування бібліотек комп'ютерного зору для побудови картографічних моделей

Етапи обробки надано у вигляді структурної схеми на рис. 4.

Для ілюстрації застосування процедур обробки фотографічного зображення із застосуванням запропонованої методики обрано космічний знімок іспанського міста Росес (рис. 5). А саме, на рис. 6 наведено результат застосування методу виявлення кутів, а на рис. 7 – результат реалізації методу лінійного перетворення Хафа. На рис. 8 наведено картографічну модель міста Росес, розроблену із використанням системи ArcGIS.

### Висновки

Таким чином, в результаті аналізу сучасних ГІС-пакетів, технічних можливостей взаємодії мови Python на рівні впровадження програмних модулів в систему ArcGIS, а також використання потужностей бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV в середовищі Python, розроблено структуру взаємодії бібліотек Python за форматами даних, структурну схему бібліотек Python, що використовуються при роботі із геопросторовими даними, а також методику за-

стосування бібліотек комп'ютерного зору для побудови картографічних моделей.

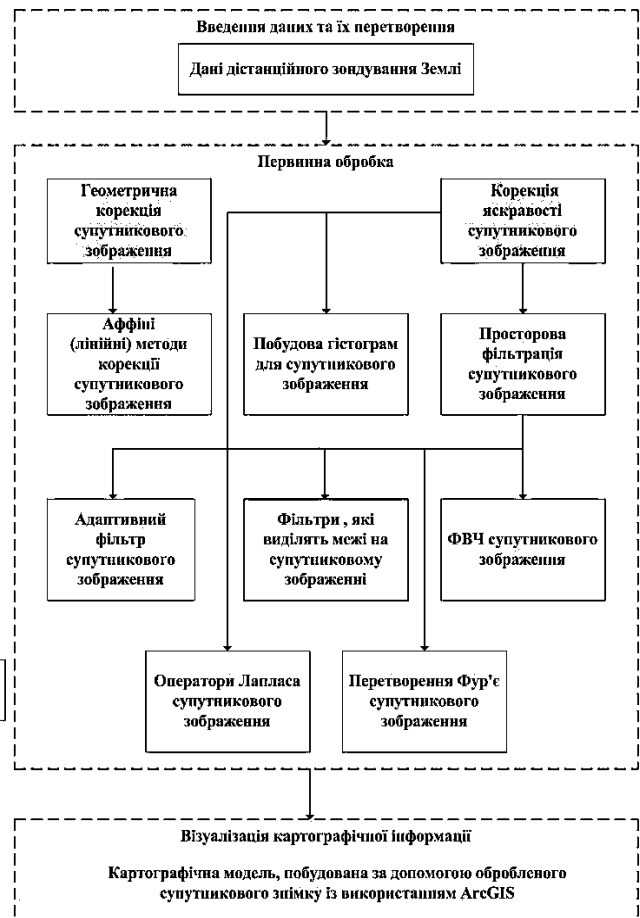


Рис. 4. Етапи обробки цифрового космічного знімку



Рис. 5. Космічний знімок міста Росес (Іспанія)



Рис. 6. Результат виявлення кутів на космічному зображенні



Рис. 7. Результат застосування лінійного перетворення Хафа

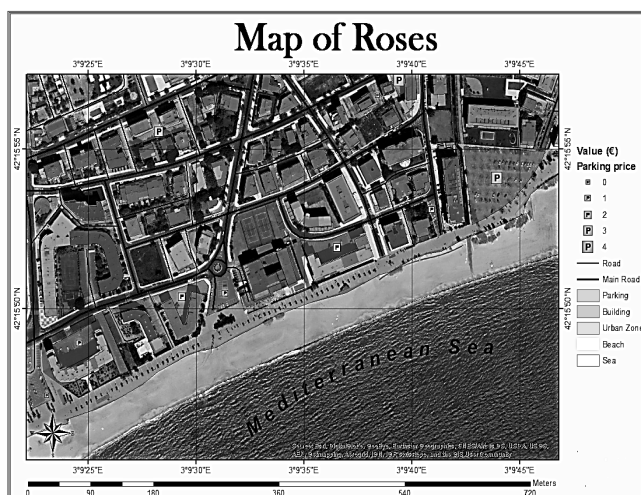


Рис. 8. Публікація карти з електронної картографічної моделі міста Росес (Іспанія)

Наведено результати впровадження розробленої методики для побудови електронної картографічної моделі міста Росес (Іспанія) за даними дистанційного зондування Землі.

Надійшла до редколегії 14.12.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## Список літератури

1. Прохорёнок Н.А. Python3. Самое необходимое / Н.А. Прохорёнок, В.А. Дронов. — СПб.: "БХВ-Петербург", 2016. — 461 с.
2. Лутц Марк. Python. Карманный справочник. 5-е изд.: Пер. с англ.—М.: ООО "И. Д. Вильямс", 2015. — 320 с.
3. Уэс Маккинли. Python и анализ данных / Пер. с англ. А.А. Слинки. — М.: ДМК Пресс, 2015. — 482 с. — С. 14-21, 23-24, 57-70, 244-275.
4. Саммерфилд М. Программирование на Python 3. Подробное руководство. — Пер. с англ. — СПб.: Символ-Плюс, 2009. — 608 с.. — С. 552-556.
5. Доусон М. Програмуємо на Python. — СПб.: Питер, 2014. — 416 с.: ил. — С. 277-307.
6. OpenCV-Python Tutorials [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://docs.opencv.org/master/tutorial\\_py\\_root.html#gsc.tab=0](http://docs.opencv.org/master/tutorial_py_root.html#gsc.tab=0).
7. Python [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://http://dimonvideo.ru/articles/1368/>.
8. Разработка Python. Python на Хабре. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/150302/>.
9. Python 3.1. Учебник [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://ru.wikibooks.org>.
10. Python 3 для начинающих. Часть 1: начало работы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://pythonworld.ru/numpy/1.html>.
11. Python 3 для начинающих. Модуль Math [Электронный ресурс] // — Режим доступа: <http://pythonworld.ru/moduli/modul-math.html>.
12. GDAL. GIS-LAB [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gis-lab.info/>.
13. Снимки Landsat 8. USGS [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.usgs.gov/>.
14. Python 3 для начинающих. Модуль Matplotlib [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://pythonworld.ru/moduli/modul-matplotlib.html>.

## МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ БИБЛИОТЕК КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

С.М. Андреев, В.А. Жилин, А.С. Топчий

Представлена методика применения библиотек компьютерного зрения для построения картографических моделей. Раскрыты особенности работы с типами данных на языке Python, а также построена классификация библиотек языка Python в виде структурной схемы. Разработанная методика также предлагается в виде структурной схемы для лучшей её визуализации и упрощения понимания взаимодействия основных этапов работы при построении картографических моделей.

**Ключевые слова:** картография, типы и форматы данных, компьютерное зрение, программный ГИС-пакет.

## METHOD OF APPLICATION OF LIBRARIES OF COMPUTER VISION FOR CONSTRUCTION OF CARTOGRAPHIC MODELS

S.M. Andreev, V.A. Zhilin, A.S. Topchy

The technique of application of libraries of computer sight for construction of cartographic models is presented. Features of working with data types in Python are disclosed, and a classification of Python libraries in the form of a structural scheme is constructed. The developed methodology is also proposed in the form of a structural scheme for better visualization and simplification of the understanding of the interaction of the main stages of work in the construction of cartographic models.

**Keywords:** cartography, types and formats of data, computer vision, software GIS package.

П.Г. Берднік<sup>1</sup>, Ю.Є. Шапран<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків

<sup>2</sup> Державний університет інфраструктури та технологій, Київ

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВПЛИВУ ТОЧНОСТІ ОЦІНКИ КОЕФІЦІЄНТУ ГОТОВНОСТІ МОБІЛЬНИХ КОНТРОЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ НА ДОСТОВІРНІСТЬ КОНТРОЛЮ АПАРАТУРИ РАДІОНАВІГАЦІЇ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

У статті показаний вплив технічного стану апаратури радіонавігації морського транспорту на часові та економічні показники морських перевезень. Запропонований метод побудови імітаційної моделі, який полягає у врахуванні ймовірностей знаходження мобільних контрольно-діагностичних систем і апаратури радіонавігації у відповідних станах експлуатації – справному або несправному. Розроблені аналітичні співвідношення для визначення ймовірності знаходження апаратури радіонавігації у відповідних станах експлуатації. Запропонована імітаційна модель, яка заснована на особливостях параметрів контролю апаратури радіонавігації та похибок мобільної контрольно-діагностичної системи, що застосовується при контролі.

**Ключові слова:** імітаційна модель, контроль, технічний стан, апаратура радіонавігації, морський транспорт.

### Вступ

**Актуальність проблеми.** Апаратура радіонавігації використовується для керування морським транспортом (суднами) за допомогою радіотехнічних приборів. Основні задачі, які вирішує радіонавігація: визначення координати судна та його місце розташування щодо інших точок, направлення виходу в заданий район. Вирішують ці питання за допомогою наступної апаратури радіонавігації: радіокомпасів, радіомаяків, радіонавігаційної системи. При цьому радіомаяк передає точні координати, працює самостійно або відноситься до радіонавігаційної системи. Тобто всі дані передаються, як правило, через супутник, і за допомогою радіокомпасу можна отримати точні дані про місце розташування судна.

Для обчислення дійсного напрямку руху та швидкості морського транспорту підраховують геометричну суму векторів: курс та швидкість, відносно води (за допомогою двигуна); напрям і сила (швидкість дрейфу); напрям і швидкість течії.

Для того щоб морський транспорт привести із одного місця в інше необхідно визначити генеральний напрям, за яким слід буде вести цей транспорт. Це є попередньою прокладкою курсу. Після того, як судно буде рухатися за курсом, тоді проводять контроль місця його положення за допомогою апаратури радіонавігації. Слід відмітити, що помилки при визначенні місця положення морського транспорту можуть суттєво вплинути як на швидкість переміщення (проходження строго за прокладеним курсом або проходження додаткової відстані за рахунок внесення похибки у цей курс), так і на матеріальні витрати (паливо, витрати на додатковий час перебу-

вання на маршруті). Отже, від достовірності контролю апаратури радіонавігації морського транспорту залежить оперативність і економічність морських перевезень. При цьому достовірності контролю апаратури радіонавігації залежить від справності засобів контролю – мобільних контрольно-діагностичних систем [1 – 3].

Таким чином, оцінка впливу точності оцінки коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних систем на достовірність контролю технічного стану апаратури радіонавігації морського транспорту є актуальною науковою задачею. Для розв'язання цієї задачі розроблена відповідна імітаційна модель.

**Аналіз літератури.** Підтримка високого рівня справності морського транспорту можлива лише шляхом підвищення ефективності експлуатації мобільних контрольно-діагностичних систем, тобто підвищення коефіцієнту готовності [4 – 8].

Для підвищення ефективності контролю апаратури радіонавігації морського транспорту необхідно оцінити якість (достовірність, точність) оцінки коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних систем. При цьому рішення завдання оцінки технічного стану для апаратури радіонавігації експериментальними і статистичними методами, у силу часових обмежень, надто складне [8]. Тому оцінку коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних систем як для існуючих, так і для перспективних зразків, пропонується здійснити за допомогою математичного моделювання процесів вимірювального контролю апаратури радіонавігації та мобільних контрольно-діагностичних систем, що застосовуються при контролі цієї апаратури [1, 2].

Недоліками існуючих моделей вимірювального контролю складних зразків є те, що враховується лише вплив повноти і глибини контролю на достовірність контролю і не враховується якість обслуговування самих засобів контролю, які використовуються при цьому [3, 4, 7].

Пропонується імітаційна модель вимірювального контролю апаратура радіонавігації позбавлена цього недоліку, що забезпечить досягнення необхідного розрахункового рівня проходження морського транспорту строго за прокладеним курсом з меншими матеріально-технічними витратами.

**Метою статті** є розробка імітаційної моделі впливу точності оцінки коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних систем на достовірність контролю технічного стану апаратури радіонавігації морського транспорту.

### Основна частина

Для побудови імітаційної моделі пропонується використати метод, зміст якого полягає у тому, що оцінка контролю апаратури радіонавігації морського транспорту описується формулою:

$$P_{i,j} = P_i^O \sum_{l=1}^k P_l^c P_{j,i,l}, \quad (1)$$

де  $k$  – число станів мобільних контрольно-діагностичних систем, призначених для контролю апаратури радіонавігації;

$P_i^O$  – апіорна ймовірність знаходження апаратури радіонавігації в  $i$ -м стані;

$i$  і  $j$  – стан апаратури радіонавігації ( $i=1$  – працездатна;  $i=2$  – непрацездатна) і визначений стан апаратури радіонавігації за результатами контролю ( $j=1$  – придатна до подальшої експлуатації;  $j=2$  – непридатна до подальшої експлуатації);

$l$  – стан мобільних контрольно-діагностичних систем, що застосовується для контролю апаратури радіонавігації;

$P_l^c$  – апіорна ймовірність знаходження мобільних контрольно-діагностичних систем в  $l$ -му стані;

$P_{j,i,l}$  – умовна ймовірність того, що в результаті контролю апаратура радіонавігації знаходиться у стані  $j$ , при умові, що вона знаходиться у стані  $i$ , а мобільна контрольно-діагностична система – у стані  $l$ .

Відповідно до формули (1) достовірність контролю апаратури радіонавігації дорівнює

$$D = P_{1,1} + P_{2,2} = 1 - (P_{1,2} + P_{2,1}),$$

а статистичний коефіцієнт готовності зразка мобільної контрольно-діагностичної системи дорівнює  $P_{1,1}$ .

Коефіцієнт готовності мобільних контрольно-діагностичних систем до застосування визначається так:

$$K_r = \frac{P_1}{\sum_{i=1}^k P_i} = P_1,$$

де  $P_1$  – ймовірність стану, при якому система застосовується для контролю технічного стану апаратури радіонавігації (основний стан моделі експлуатації);

$P_i$  – ймовірність  $i$ -го стану системи із загальної кількості станів  $k$ ,  $i = \overline{1, k}$ .

Якщо стан апаратури радіонавігації визначається сукупністю  $n$  незалежних параметрів контролю ( $v = \overline{1, n}$ ), то ймовірності цих станів описуються такими формулами:

$$\begin{aligned} P_{1,1} &= \sum_{\ell=1}^k P_{\ell}^c \left[ \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,\ell}) \right]; \\ P_{1,2} &= \sum_{\ell=1}^k P_{\ell}^c \left[ \begin{array}{c} \prod_{v=1}^n P_v - \\ - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,\ell}) \end{array} \right]; \\ P_{2,1} &= \sum_{\ell=1}^k P_{\ell}^c \left[ \begin{array}{c} \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,\ell} + \beta_{v,\ell}) - \\ - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,\ell}) \end{array} \right]; \\ P_{2,2} &= \sum_{\ell=1}^k P_{\ell}^c \left[ \begin{array}{c} 1 - \prod_{v=1}^n P_v - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,\ell}) - \\ - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{v,\ell} + \beta_{v,\ell}) \end{array} \right], \end{aligned} \quad (2)$$

де  $P_v$  – апіорна ймовірність знаходження  $v$ -го параметра контролю апаратури радіонавігації в області допустимих значень;

$\alpha_{v,l}$ ,  $\beta_{v,l}$  – ймовірності помилок контролю I-го і II-го роду  $v$ -го параметра за умови, що мобільна контрольно-діагностична система знаходиться в стані  $l$  відповідно.

Формули (2) є узагальненням формули (1) і тотожні при  $v=1$ .

Так як для мобільної контрольно-діагностичної системи за результатами її обслуговування розрізняють два стани:

$l=1$  – працездатна та допущена до обслуговування апаратури радіонавігації,

$l=2$  – мобільна контрольно-діагностична система непрацездатна та недопущена до обслуговування апаратури радіонавігації,

то згідно формул (2) для визначення математичного сподівання перебування апаратури радіонавігації у відповідному стані є вірними формули, що мають такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 m_{1,1} &= \\
 &= p^- (m^M - \alpha_1) + (1 - p^c)(P^O - \alpha_2); \\
 m_{1,2} &= p^- \alpha_1 + (1 - p^c) \alpha_2; \\
 m_{2,1} &= p^- \beta_1 + (1 - p^c) \beta_2; \\
 m_{2,2} &= \\
 &= p^- (1 - P^O - \beta_1) + (1 - p^c)(1 - P^O - \beta_2),
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

де  $p^c$  – апіорна ймовірність знаходження мобільної контрольно-діагностичної системи у стані  $l = 1$ ;

$\alpha_1, \alpha_2$  – ймовірність помилок контролю апаратури радіонавігації I-го роду для  $l = 1$  і  $l = 2$  відповідно;

$\beta_1, \beta_2$  – ймовірність помилок контролю апаратури радіонавігації II-го роду для  $l = 1$  і  $l = 2$  відповідно;

$P^O$  – апіорна ймовірність знаходження апаратури радіонавігації у працездатному стані.

Основною складністю при оцінці впливу якості обслуговування мобільної контрольно-діагностичної системи на готовність апаратури радіонавігації є отримання аналітичних залежностей для  $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ .

Так як для найбільш часто розповсюджених законів розподілу параметрів контролю та похибки вимірювання параметрів – нормального та рівномірного – неможливо отримати аналітичні вирази у загальному виді для функцій розподілу, запропоновано використання імітаційного моделювання.

Запропонована імітаційна модель основана на генерації нормальних розподілів дійсного значення  $X$  параметра контролю апаратури радіонавігації та похибки мобільної контрольно-діагностичної системи  $Y$ , що застосовується при контролі. Значення параметра контролю апаратури радіонавігації  $Z$  є композицією розподілів  $X$  і  $Y$ , тобто

$$Z = X + Y .$$

Значення параметрів з формул (3)

$$p^c, P^O, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$$

розраховуються як частоти потрапляння аргументів розподілів  $X, Y, Z$  у відповідних границях (табл. 1).

Таблиця 1

Границі параметрів

Параметри формул (3)	Умови		
	Працездатності апаратури радіонавігації	Придатності апаратури радіонавігації	Працездатності мобільної контрольно-діагностичної системи
$p^c$	–	–	$a' < y < b'$
$P^O$	$a < X < b$	–	–
$\alpha_1$	$a < X < b$	$Z < a$ або $Z > b$	$a' < Y < b'$
$\alpha_2$	$a < X < b$	$Z < a$ або $Z > b$	$Y < a'$ або $Y > b'$
$\beta_1$	$X < a$ або $X > b$	$a < Z < b$	$a' < Y < b'$
$\beta_2$	$X < a$ або $X > b$	$a < Z < b$	$Y < a'$ або $Y > b'$

У табл. 1 введені такі позначення:

$a, b$  – нижня та верхня границя області допустимих значень параметра контролю апаратури радіонавігації відповідно;

$a', b'$  – нижня та верхня границі області допустимих значень похибки мобільної контрольно-діагностичної системи відповідно.

У результаті використання розробленої імітаційної моделі та розрахунку формул (3) установленно,

що похибки, у бік заниження, в оцінці працездатного стану мобільної контрольно-діагностичної системи, яка застосовується при контролі технічного стану апаратури радіонавігації на (1,5 – 2) %, що виникають у результаті математичного моделювання процесів їх обслуговування, для найбільш типових значень:

$$P^O = 0,95; p^c = 0,95;$$

$$\alpha_1 = 0,01; \alpha_2 = 0,01;$$

$$\beta_1 = 0,01; \beta_2 = 0,01$$

надають похибку оцінки коефіцієнта готовності о мобільної контрольно-діагностичної системи порядку десятих процента.

Відповідно до отриманих результатів можна зробити висновок про актуальність задачі підвищення точності моделювання процесів обслуговування мобільної контрольно-діагностичної системи, що застосовується при контролі технічного стану апаратури радіонавігації морського транспорту.

Так розрахунки показали, що підвищення коефіцієнту готовності мобільної контрольно-діагностичної системи на (1,5 – 2) % дозволяють підвищити достовірність контролю апаратури радіонавігації на (2 – 10) %.

### Висновки

Розроблена імітаційна модель впливу точності оцінки коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних систем на достовірність контролю апаратури радіонавігації морського транспорту дозволяє визначити взаємозв'язок між якістю обслуговування системи та достовірністю визначення реального технічного стану апаратури, що контролюється.

Наступні публікації будуть направлені на розробку математичної моделі «зразок (система), що контролюється – засіб контролю» і оцінку показників ефективності експлуатації радіотехнічних засобів морського транспорту за допомогою такої моделі.

### Список літератури

1. Лукьянович Н.В. *Морской транспорт в мировой экономике* / Н.В. Лукьянович. – М.: Моркнига, 2009. – 162 с.
2. *Морская радиоэлектроника* / Соловьев И.В. и др.; под ред. Кравченко В.А. – СПб.: Политехника, 2003. – 185 с.
3. Дорогунов С. *Морський транспорт; Розміщення трудових сил України* / С. Дорогунов // Подія. – 2011. – № 3. – С. 22-25.
4. Барзилович Е.Ю. *Модели технического обслуживания сложных систем* / Е.Ю. Барзилович. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
5. *Основы эксплуатации средств измерений* / В.А. Кузнецов, А.Н. Пашков, О.А. Подольский и др.; под ред. Р.П. Покровского. – М.: Радио и связь, 1984. – 184 с.
6. *К вопросу построения автоматизированной системы мониторинга параметров высокоточного навигационного поля* / В.В. Каретников, И.В. Пащенко, А.И. Соколов, И.Г. Кузнецов // *Морская радиоэлектроника*. – 2015. – № 2 (52). – С. 24–27.
7. Герасимов С.В. *Техніко-економічне обґрунтування розробки (модернізації, закупівлі) складних технічних комплексів* / С.В. Герасимов, А.М. Клименко, Т.А. Пінчук // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – Х.: ХУПС. – 2010. – Вип. 1 (23). – С. 111–115.
8. Демидов Б.О. *Розробка військово-економічного показника ефективності експлуатації перспективної пересувної лабораторії виміральної техніки* / Б.О. Демидов, М.В. Борисенко, С.В. Герасимов // *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. – Х.: ХУПС. – 2014. – Вип. 3 (40). – С. 11–16.

Надійшла до редколегії 21.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. М.А. Павленко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

### ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ МОБИЛЬНЫХ КОНТРОЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ДОСТОВЕРНОСТЬ КОНТРОЛЯ АППАРАТУРЫ РАДИОНАВИГАЦИИ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

П.Г. Бердник, Ю.Е. Шапран

*В статье показано влияние технического состояния аппаратуры радионавигации морского транспорта на временные и экономические показатели морских перевозок. Предложенный метод построения имитационной модели, который заключается в учете вероятностей нахождения мобильных контрольно-диагностических систем и аппаратуры радионавигации в соответствующих состояниях эксплуатации – исправном или неисправном. Разработаны аналитические соотношения для определения вероятности нахождения аппаратуры радионавигации в соответствующих состояниях эксплуатации. Предложена имитационная модель, основанная на особенностях параметров контроля аппаратуры радионавигации и ошибок мобильной контрольно-диагностической системы, применяемой при контроле.*

**Ключевые слова:** имитационная модель, контроль, техническое состояние, аппаратура радионавигации, морской транспорт.

### IMITATION MODEL OF INFLUENCE OF ACCURACY OF ACCURACY OF THE COEFFICIENT OF THE READINESS OF MOBILE CONTROL AND DIAGNOSTIC SYSTEMS ON THE ACCURACY OF CONTROL OF THE TRANSPORT SEA RADIONAVIGATION APPARATUS

P.G. Berdnik, Yu.Ye. Shapran

*The article shows the influence of the technical state of the radio navigation equipment of transport sea on the temporary and economic indicators of sea transport. The proposed method for constructing an imitation model, which consists in taking into account the probabilities of finding mobile diagnostic and control systems and radio navigation equipment in the corresponding operating states – serviceable or faulty. Analytical relations have been developed to determine the probability of finding radio navigation equipment in the corresponding operating states. A simulation model based on the features of the monitoring parameters of the radio navigation equipment and the errors of the mobile control and diagnostic system used in the control is proposed.*

**Keywords:** simulation model, control, technical condition, radio navigation equipment, transport sea.

I.V. Ostroumov

National Aviation University, Kyiv

## DME/DME AND VOR/DME POSITIONING ERRORS ESTIMATION

Currently, area navigation methods are used as alternative to Global Navigation Satellite System. The most popular alternative method of positioning is grounded on the usage of Distance Measuring Equipment data in the algorithms of an aircraft Flight Management System. Estimation of aircraft position error is one of the most important tasks of navigation. An article considers the problem of positioning errors estimation by DME equipment. In accordance with the international requirements for the airborne equipment of civil aircraft, the problem is considered in terms of optimal DME pair usage. DME/DME and VOR/DME navigation accuracy for a pair of navigational aids is estimated.

**Keywords:** DME, DME/DME, VOR/DME, accuracy, pair of navigational aids, airspace, positioning, alternative positioning methods, APTN.

### Introduction

Guidance or maintenance the certain position lines play a major role during the whole aircraft flight. It determine the movement of the aircraft on an exactly trajectory. This process is an integral requirement for navigational tasks and is applied at all stages of the aircraft flight. In accordance with international documents [1] strict requirements are set for the accuracy of maintaining the specified lines of position. An accuracy of maintaining the given parameters of motion is bound to be related to the deviation of the aircraft from the pre-planned trajectory and directly affects the safety of aviation. Algorithms of alternative positioning techniques are used on board of a civil aircraft in case of problems of Global Navigation Satellite System (GNSS) functioning.

The most accurate alternative positioning algorithm is the positioning using a pair of DMEs [2]. This algorithm is used in the majority of modern Flight Management Systems (FMS). At the same time, it is important to choose the optimal pair of DMEs that will provide the highest accuracy of positioning. According to minimum equipment list, only two DME interrogators should be present at aircraft avionics. Therefore, positioning algorithms in FMS can operate simultaneously only with a one DME/DME or VOR/DME pair. Geometric factor associated with the geometry of navigational aids relative position is considered as the most significant factor of positioning accuracy decreasing. Another component of accuracy estimation is the precision of DME measurements, related to accuracy of determining the distances between aircraft and navigational aids.

Questions of positioning errors were considered in different scientific papers. In particular, Euiho Kim explored the use of new forms of DME navigation signals to improve measurement accuracy of DME [3]; S. Lo and P. Enge studied the components of distance deter-

mination error [4], S. Li, Y. Ni and N. Cai studied issues of DMEs location optimal choice [5]; I. Ostroumov investigated accuracy of positioning with all available DMEs in a certain part of airspace [6-8]. However, obtained results do not reflect the real capabilities of aircraft avionics but are directed towards to optimize DME ground network.

In accordance with mentioned above, the *main objective of the article* is to estimate the maximum positioning accuracy that can be obtained by choosing the optimal DME/DME or VOR/DME pair in flight management system for a certain aircraft location in some part of Ukrainian airspace.

### Estimation of DME/DME error

Aircraft positioning using information from DME is based on the simultaneous use of two sets of equipment that determine distances to two different navigational aids. In the general case, it is assumed that results of measurements are obtained simultaneously, and sometimes delay of information from one of two navigational aids with longer distance can be neglected. In this case, an aircraft location is at the point of intersection of the aircraft position circular lines relative to navigational aid (fig. 1). The action of errors in determining distances  $\Delta$  using DME leads to the fact that resulting aircraft location will differ from the true one. Thus, it is shown on fig. 1 that the results of measurements of distances  $R_A$  and  $R_B$  using DME A and DME B contain errors  $\Delta_A$  and  $\Delta_B$  respectively. The point of intersection of position lines A and B gives the aircraft location  $P_1$ , which differs from the true location  $P_2$  by the error value  $\Delta_p$ . Estimation of location determination errors is very important task of navigation systems. We perform an estimation of positioning error  $\Delta_p$  using known errors of DME systems.

At long distances, the curvature of the position lines can be neglected and lines can be considered to be straight on fig. 1.



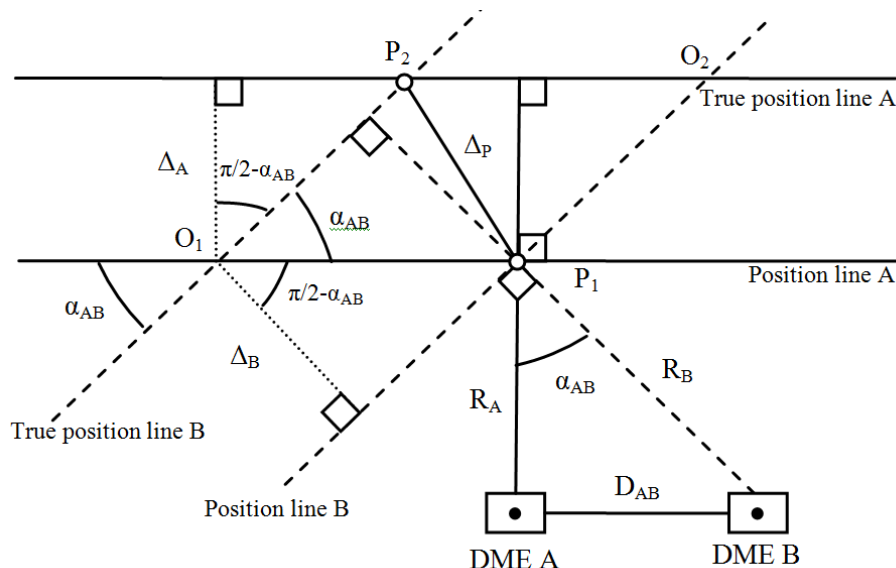


Fig. 1. Positioning error estimation

A case of aircraft coordinates determination using intersection of two lines of the location, formed from distance measurements ( $R_A$  and  $R_B$ ) to DME A and DME B is shown on fig. 1. Point  $P_1$  corresponds to determined aircraft location. The presence of errors ( $\Delta_A$  and  $\Delta_B$ ) in the results of distance measurements allows to draw lines of the true location at the intersection of which  $P_2$  (the point of the true aircraft position) is located.

The distance between points of location  $P_1$  and  $P_2$  is the radial error  $\Delta_P$ , which determines the accuracy of aircraft coordinates.

To estimate an error value  $\Delta_P$ , we use the angle  $\alpha_{AB}$ , (angle between the directions on DME A and DME B), which can be determined by the basis of navigational aid pair:

$$\alpha_{AB} = \arccos\left(\frac{D_{AB}^2 - R_A^2 - R_B^2}{2R_A R_B}\right).$$

Since the lines of location are perpendicular to the radial distances of  $R_A$  and  $R_B$ , and the angles formed by two perpendicular angles are the same, then the angle of the line of position will be equal to the angle  $\alpha_{AB}$ , formed by the directions on the DME. The error  $\Delta_P$  is determined by the theorem of cosines from the triangle  $O_1P_1P_2$ :

$$\Delta_P = \sqrt{O_1P_1^2 + O_1P_2^2 - 2O_1P_1 O_1P_2 \cos(\alpha_{AB})},$$

where  $O_1P_1 = \frac{\Delta_B}{\cos(\frac{\pi}{2} - \alpha_{AB})} = \frac{\Delta_B}{\sin(\alpha_{AB})},$

$$O_1P_2 = \frac{\Delta_A}{\cos(\frac{\pi}{2} - \alpha_{AB})} = \frac{\Delta_A}{\sin(\alpha_{AB})}.$$

Then,

$$\Delta_P = \sqrt{\left(\frac{\Delta_B}{\sin(\alpha_{AB})}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_A}{\sin(\alpha_{AB})}\right)^2 - 2\frac{\Delta_B}{\sin(\alpha_{AB})}\frac{\Delta_A}{\sin(\alpha_{AB})}\cos(\alpha_{AB})};$$

$$\Delta_P = \sqrt{\frac{\Delta_B^2 + \Delta_A^2 - 2\Delta_A \Delta_B \cos(\alpha_{AB})}{\sin(\alpha_{AB})^2}}.$$

Since the errors  $\Delta_A$  and  $\Delta_B$  are random variables, then the radial error  $\Delta_P$  will have a random nature.

Then

$$\sigma_P^2 = \frac{\sigma_B^2 + \sigma_A^2 - 2\rho\sigma_A\sigma_B \cos(\alpha_{AB})}{\sin(\alpha_{AB})^2},$$

where  $\rho$  is the coefficient of mutual correlation of measurement errors of the position line.

Since information about  $R_A$  and  $R_B$  is obtained from different DMEs, we will have independent measurement errors for the position lines, for which  $\rho = 0$ , then we will have:

$$\sigma_P^2 = \frac{\sigma_B^2 + \sigma_A^2}{\sin(\alpha_{AB})^2}. \quad (1)$$

Therefore, mean square error of determining the aircraft location depends on the mean square error of measuring the position lines and the angle between the directions to DME. The maximum accuracy of location will be observed when crossing of position lines will be perpendicular to each other.

Constant value of  $\alpha_{AB}$  angle graphically corresponds to a circular line, the chord  $D_{AB}$  of which is the basis distance between DMEs. DMEs are located on a circular line at the points of intersection of the chord. Lines of the circles will be symmetrical on both sides of the chord. Lines of constant angles above the chord line

for BRP (Boryspil) and IKV (Kyiv/Zhyliany) DMEs at FL20 within the area of their availability estimated by method [9] are represented on fig. 2.

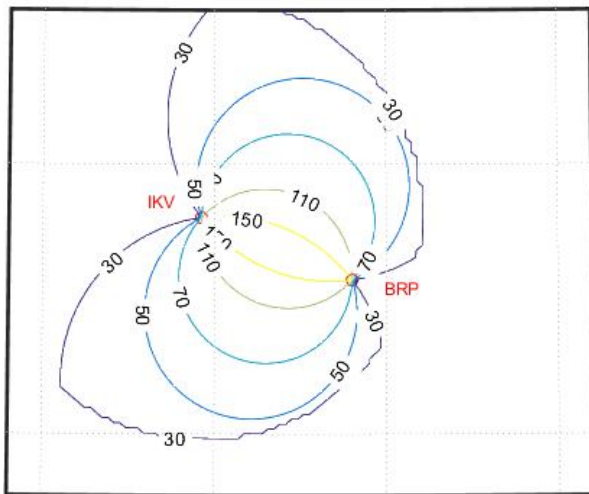


Fig. 2. Lines of the same angles between direction to IKV and BRP DMEs

Radius of circle is calculated as follow [10]:

$$R = \frac{d}{2 \sin\left(\frac{\alpha_{AB}}{2}\right)}$$

Coordinates of a circle center in the local coordinate system, center of which is located in DME A, and X axis is directed towards DME B, can be calculated by the following expression:

$$x_c = \frac{d}{2}, y_c = \frac{d}{2} \text{ctg}(\alpha_{AB})$$

Since the denominator in (1) is a value with constant circular lines, and the effect of errors in the numerator is not very strong, the resulting lines of identical location determination errors will have the circular form (fig. 3). In addition, the angle and error values shown on fig. 2 and 3 correspondently are within DMEs operational area.

According to (1), the maximum positioning accuracy will occur for

$$\sin(\alpha_{AB}) = 1, \text{ with } \alpha_{AB} = 90^\circ$$

For this circle, the distance  $D_{AB}$  to DME will be a diameter, and the center of circle is located at point with coordinates:

$$x_c = d/2, y_c = 0$$

Operation area of DME/DME positioning is basically limited by the level of double accuracy decreasing:

$$\sigma_P = \frac{\sqrt{\sigma_B^2 + \sigma_A^2}}{\sin(\alpha_{AB})}$$

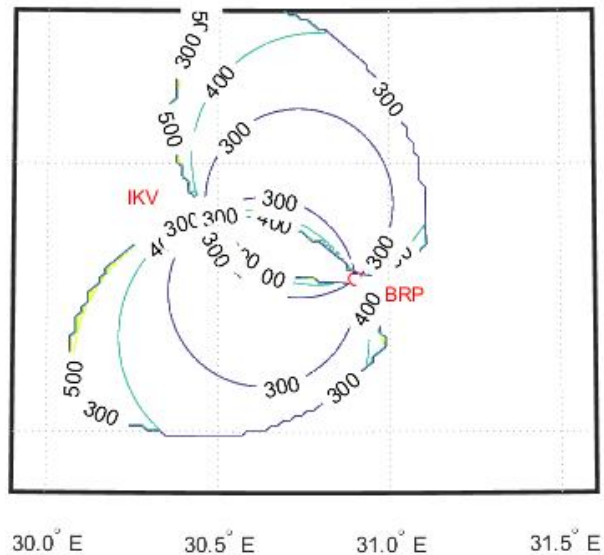


Fig. 3. Error of positioning by DME/DME

$$2\sqrt{\sigma_B^2 + \sigma_A^2} = \frac{\sqrt{\sigma_B^2 + \sigma_A^2}}{\sin(\alpha_{AB})}$$

$$\sin(\alpha_{AB}) = \frac{1}{2}$$

Correspondingly, an area bounded by lines of fixed angles (30° and 150°) will correspond to a double accuracy decreasing. The values on fig. 2 and fig. 3 are represented within double accuracy decreasing area for BRP and IKV DMEs.

An important stage in the position accuracy calculation is the estimation of an area within which the probability of aircraft location will correspond to a certain  $P$  value. In case of independent measurements and the assumption that random errors in determining the position lines are determined by Gaussian distribution, then the distribution of location determination errors is described by double Gaussian distribution of a random variable:

$$\rho(\Delta_A, \Delta_B) = \frac{1}{2\pi\sigma_A\sigma_B} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta_A^2}{\sigma_A^2} + \frac{\Delta_B^2}{\sigma_B^2}\right)}$$

The probability of aircraft location in a particular area will be constant within ellipse of errors that is described by equation [11]:

$$\frac{\Delta_A^2}{\sigma_A^2} + \frac{\Delta_B^2}{\sigma_B^2} = \kappa^2$$

Probability of aircraft location within ellipse is as follows:

$$P = 1 - e^{-\kappa^2/2} \text{ or } \kappa = \sqrt{-2 \ln(1 - P)}$$

Also, an approach that estimates the area of a parallelogram formed by the lines of the true and measured

position [11] can be used to evaluate the influence of the relative DME position:

$$S = \sigma_A \sigma_B \sin(\alpha_B).$$

Distance error of DME measurement is considered to be the sum of error occurring during the signal propagation in space ( $\sigma_{sis}$ ) and an error introduced by the airborne interagetor  $\sigma_{air}$  [1, 12]:

$$\sigma_{DME A,B}^2 = \sigma_{sis}^2 + \sigma_{air}^2.$$

The maximum permissible value of  $\sigma_{sis}$  is defined as 0.05 nm [1]. At that time, the maximum permissible value of  $\sigma_{air}$  is limited to 0.085 nm according to RTCA DO-189 [12], and, according to ICAO DOC-9613 [1], can be calculated as follows:

$$\sigma_{air} = \max\{0.085 \text{ nm}; 0,125\% R\},$$

where R – measured distance.

### Estimation of VOR/DME error

A method of position line determination by a combination of distance and angle measuring equipment is widely used in aircraft navigation systems. Location of DME and VOR at the same point allows to determine aircraft position using range and azimuthal crossing lines. The formula for positioning errors estimating is derived from triangles on fig. 4:

$$\sigma_P^2 = \sigma_d^2 + \left( 2d \sin\left(\frac{\sigma_\alpha}{2}\right) \right)^2 = \sigma_d^2 + 2d^2(1 - \cos(\sigma_\alpha)).$$

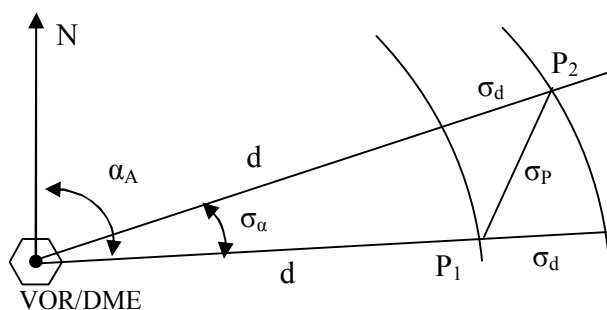


Fig. 4. Positioning error of VOR/DME method

Since the errors of azimuth determination basically do not depend on the direction, the lines of identical errors have circular form with radii depending on the required accuracy:

$$R = \sqrt{\frac{\sigma_P^2 - \sigma_d^2}{2(1 - \cos(\sigma_\alpha))}}.$$

The results of positioning errors estimation for BRP VOR/DME are shown on fig. 5.

### Selection of positioning method

During the flight, the choice of the appropriate positioning method and optimal navigational aids, that will

provide the most accurate position line maintaining or determination of the coordinates of aircraft location, is important step in navigational algorithm. The value of mean-square deviation is used as an optimal criterion.

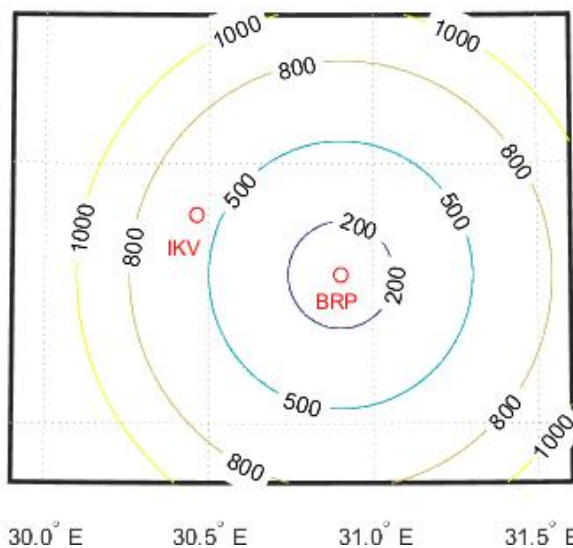


Fig. 5. Errors of BRP VOR/DME positioning

In general case, a pair of navigational aids is chosen to provide the least value of mean square deviation. This estimation is performed separately for each of the available positioning methods. A positioning method is selected grounding on the minimum error of positioning.

We perform a comparison of DME/DME and VOR/DME positioning methods based on their accuracy. Let's compare values of DME/DME positioning errors on fig. 3 with errors of VOR/DME on fig. 5 and determine the optimal positioning method. In this case, the accuracy of VOR/DME is limited to 600m. Results of area estimation of an appropriate positioning method are shown on fig. 6.

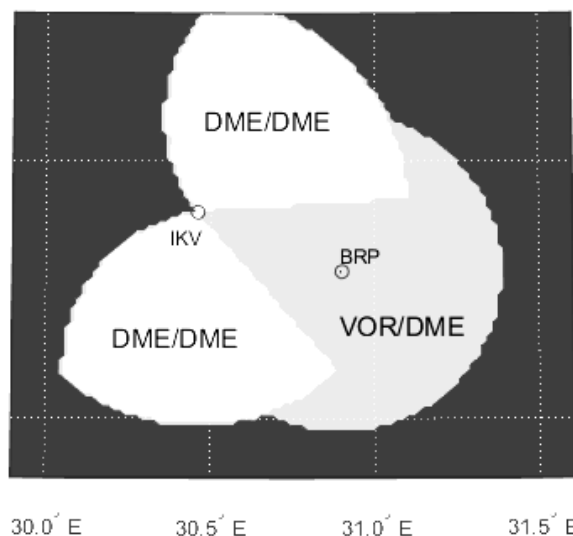


Fig. 6. Areas of an appropriate positioning method

## Conclusion

An accuracy of maintaining an aircraft position line is one of the main characteristics of aviation safety. Given mathematical dependencies allow to estimate accuracy of positioning by a pair of DME/DME and VOR/DME navigational aids.

In addition, computer based simulation for BRP and IKV navigational aids was performed and areas of an appropriate positioning method was estimated in terms of accuracy.

## References

1. Performance-based Navigation (PBN) Manual. Doc 9613. – ICAO, 2008. – 304 p.
2. Ostroumov I.V. Nav aids facility for aircraft positioning / I.V. Ostroumov // The Sixth World Congress "Aviation in the XXI-st century" - "Safety in Aviation and Space Technologies". Volume 2. – Kyiv: NAU, 2014. – pp. 3.2.1–3.2.5.
3. Kim E. Alternative DME/N pulse shape for APNT / E. Kim // Digital Avionics Systems Conference (DASC). – 2013, IEEE/AIAA. – pp. 4D2-1.
4. Lo S. Distance measuring equipment accuracy performance today and for future alternative position navigation and timing (APNT) / S. Lo, Y.H. Chen, P. Enge, B. Peterson, R. Erikson, R. Lilley // Proceedings of the 26th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2013), Nashville, TN. – 2013. – pp.711–721.
5. Li S. Optimal strategy of dme beacon distribution for dme/dme area navigation / S. Li, Y. Ni, N. Cai, // Signal Processing (ICSP), 2012 IEEE 11th International Conference on IEEE. – 2012. – Vol. 3. – pp. 2036–2039.
6. Остроумов І.В. Оцінювання точності DME/DME позиціонування для повітряного простору України / Остроумов І.В. // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць: Випуск 3(43). – К.: НАУ, 2013. – С. 61-67.

Остроумов І.В. // Проблеми інформатизації та управління: Збірник наукових праць: Випуск 3(43). – К.: НАУ, 2013. – С. 61-67.

7. Остроумов І.В. Використання радіомаяків DME для визначення місцеположення у повітряному просторі України / І.В.Остроумов, Т.Б. Лопатко // Вісник інженерної академії України. – 2013. – № 4. – С. 300–305.

8. Ostroumov I., Kuzmenko N. Accuracy estimation of alternative positioning in navigation / 2016 IEEE 4th International Conference «Methods and Systems of Navigation and Motion Control»(MSNMC), October 18-20, – 2016 : proceedings. – Kyiv, 2016. – pp. 291–294.

9. Остроумов І. В. Оцінювання доступності наземних радіонавігаційних засобів / І.В. Остроумов // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2017. – № 69. – с. 35-40. Доступно: <http://radar.kpi.ua/radiotechnique/article/view/1398>

10. Ярлыков М. С. Авиационные радионавигационные устройства и системы / М.С. Ярлыков, В.А. Болдин, В.С. Богачев. – М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1980. – 245 с.

11. Остроумов І.В. Оцінювання точності визначення лінії положення за парою далекомірного обладнання DME при вирішенні навігаційних задач // І.В. Остроумов / Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип. 2(42). – С. 8-12.

12. DO-189. Minimum Operational Performance Standards for Airborne Distance Measuring Equipment (DME) Operating within the Radio Frequency Range of 960-1215 MHz. – RTCA, 1985.

Надійшла до редколегії 21.12.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## ПОХИБКА ПОЗИЦІОНУВАННЯ ЗА ПАРАМИ DME/DME ТА VOR/DME РАДІОМАЯКІВ

І.В. Остроумов

Сьогодні методи зональної навігації використовуються у якості альтернативних до глобальних супутникових систем позиціонування. Найбільш популярні альтернативні методи позиціонування у обчислювальній системі літаководіння ґрунтуються на використанні дальномірних радіомаяків. Оцінювання похибок визначення координат місцеположення літака є одним з важливих завдань навігації. У статті розглянуто проблему оцінювання похибок позиціонування за далекомірним обладнанням DME. Відповідно міжнародним вимогам до складу бортового обладнання літака цивільної авіації проблема розглянута з точки зору застосування оптимальної пари DME. Виконано оцінювання максимальної точності навігації за DME/DME для повітряного простору України за умови використання оптимальної пари радіонавігаційних точок.

**Ключові слова:** DME, DME/DME, VOR/DME, далекомірне обладнання, точність, пара радіонавігаційних точок, повітряний простір, Україна, позиціонування, альтернативні методи позиціонування, APTN.

## ОШИБКА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПО ПАРАМ DME/DME И VOR/DME РАДИОМАЯКОВ

И.В. Остроумов

Сегодня методы зональной навигации используются в качестве альтернативных к глобальным спутниковым системам позиционирования. Наиболее популярные альтернативные методы позиционирования в вычислительной системе самолётовождения основываются на использованные дальномерных радиомаяков. Оценивание погрешностей определения координат местоположения самолёта является одной из важных задач навигации. В статье рассмотрена проблема оценки погрешностей позиционирования по дальномерному оборудованию DME. Согласно международным требованиям выдвигающемся к составу бортового оборудования самолёта гражданской авиации проблема рассмотрена с точки зрения применения оптимальной пары радиомаяков DME. Произведена оценка максимальной точности навигации по DME / DME для воздушного пространства Украины при условии использования оптимальной пары радионавигационных точек.

**Ключевые слова:** DME, DME/DME, VOR/DME, дальномерное оборудование, точность, пара радионавигационных точек, воздушное пространство, Украина, позиционирование, альтернативные методы позиционирования, APTN.

# Контроль космічного і повітряного простору

УДК 621.396.96

doi: 10.26906/SUNZ.2018.1.017

О.С. Мальцев

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СПРОМОЖНОСТІ КООПЕРАТИВНИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Наводиться порівняльний аналіз інформаційної спроможності кооперативних систем спостереження на основі коефіцієнта частотної ефективності. Показано, що принцип побудови існуючих кооперативних систем спостереження, принцип обслуговування сигналів запиту інформації та використаний метод модуляції сигналів суттєвим чином знижує інформаційну ємність цих інформаційних систем.

**Ключові слова:** інформаційна спроможність, кооперативні системи спостереження.

### Вступ

#### Постановка проблеми й аналіз літератури.

Системи спостереження (СС) є основою інформаційного забезпечення (ІЗ) системи контролю повітряного простору (КПП) [1 – 3].

Канали передачі інформації (ПІ) кооперативних СС (КСС) значною мірою визначають якість ІЗ в системі КПП та мають деякі недоліки. Дійсно, наявність двох каналів ПІ, принцип побудови систем (несинхронна мережа) та принципи обслуговування сигналів запиту (відкрита одноканальна система масового обслуговування з відмовами) обумовили низькі показники якості ІЗ [4 – 6]. Підхід до цих систем як до СС обумовили потребу виявлення та виміру координат повітряного об'єкту (ПО) на запитувачі. Це потребує прийому пачки сигналів відповіді (СВ), що важко в умовах складної заводої обстановки. Таким чином, кооперативні СС, які мають канал запиту та канал відповіді, більш відносяться до систем обміну інформацією між наземним пунктом управління та бортом ПО і можуть характеризуватися як запитальні системи передачі інформації, за допомогою яких можливо здійснити також і передачу координат з борту ПО. Це може змінити підхід до цих систем і, як наслідок, запропонувати нові методи підвищення їхніх показників якості.

**Мета роботи.** Оцінка частотної ефективності каналів передачі інформації кооперативних систем спостереження повітряного простору.

### Основна частина

У залежності від використання чи ні ПО для визначення його місцезнаходження спостереження поділяється на некооперативне та кооперативне.

Класифікацію кооперативних систем спостереження повітряного простору (ПП) наведено на рис. 1.

При незалежному кооперативному спостереженні (НКС) місцезнаходження визначається на підставі даних вимірювань, які виконуються підсистемою локального спостереження з використанням повідомлень з борту ПО. Ці повідомлення можуть містити інформацію, отриману на борту ПО, тобто дані про барометричну висоту, ідентифікаційний індекс ПО та інше.

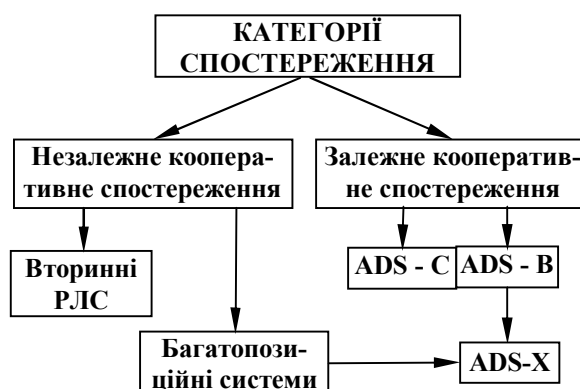


Рис. 1. Класифікація кооперативних систем спостереження повітряного простору

До НКС відноситься вторинний радіолокатор, який вирішує такі задачі [4]:

- визначення координат ПО;
- отримання польотної інформації (ПІ) з борту ПО;
- передачі на борт ПО інформації, необхідної для контролю та управління польотами та наведенням ПО;
- диспетчерської ідентифікації ПО;
- радіолокаційної ідентифікації державної приналежності ПО.

Для вирішення наведених задач вторинний радіолокатор має наступні режими (А, В, С, D, S) та 1, 2, 3, 4 і 5 [7].



Відсутність можливості передачі координат ПО з літакового відповідача потребує, як показано вище виявлення ПО та вимір його координат на запитувачі. Це особливість призводить до того що якість ІЗ вторинними радіолокаторами визначається якістю виявлення ПО та виміру його координат. Використання СВ літакових відповідачів дозволяє створювати багатопозиційні СС чи системи мультilaterації (MLAT) [8 – 10]. При цьому слід зазначити що є можливість визначення координат ПО при випромінюванні сигналу запиту (СЗ) свого передавача, так і при випромінюванні СЗ чужих передавачів.

На основі MLAT може бути побудована система контролю точності дотримування висоти, яка забезпечує вимірювання висоти ПО та передачу даних в регіональне моніторингове агентство.

Мультilaterаційне спостереження за положенням ПО відносно курсу посадки і глісади може бути використано для виводу ПО на злітно-посадкову смугу, тобто для побудови на основі MLAT системи посадки ПО.

В теперішній час спостерігається тенденція поєднання MLAT в «широкозоніві» (Wide Area Multilateration) інтегровані системи.

При залежному кооперативному спостереженні місцезнаходження визначається на борту ПО і ця інформація передається підсистемі локального спостереження поряд з можливими додатковими даними, використовуючи як свої засоби передавання інформації, так і супутникові канали передачі інформації.

Прикладом залежного спостереження є концепція автоматичного залежного спостереження (Automatic dependent surveillance – ADS). ADS – концепція, заснована на наявності ліній передачі даних «повітря-земля», за якими інформація про ПО, включаючи місце розташування, час та інші дані автоматично передається на землю відповідному споживачу. При цьому ADS підрозділяється на:

- ADS-A (Automatic Dependent Surveillance - Addressable);
- ADS-B (Automatic Dependent Surveillance - Broadcast);
- ADS-X (Automatic Dependent Surveillance - Extended).

Устаткування ADS-A, іменоване також ADS-C (контрактне), автоматично посилає з борту ПО дані про своє місцезнаходження органу управління повітряним простором (УПП), що знаходиться на землі, через певні інтервали часу або в певних заздалегідь обумовлених випадках. Періодичність передачі даних або особливі випадки, при яких має передаватися повідомлення, встановлює орган УПП.

У режимі ADS-C ПО використовує бортові навігаційні системи для визначення свого місця розташування, швидкості та отримання інших даних. Наземна система УПП укладає «контракт» з даними

ПО про надання такої інформації через регулярні інтервали або після певних подій. Інформація передається по лінії передачі даних абонент-абонет. Це означає, що доступ до такої інформації не можуть отримати інші сторони.

ADS-B являє собою радіомовну передачу з борту ПО даних про його місце розташування (широта і довгота), абсолютній висоті, швидкості, опізнавальний індекс та іншої інформації, отриманої від бортових систем. Кожне повідомлення про місцезнаходження ADS-B включає вказівку на якість даних, що дозволяє користувачам визначити, чи забезпечує якість інформації підтримку передбачуваної функції.

Дані про місцезнаходження, швидкість ПО та пов'язані з ними показники якості даних зазвичай отримують від бортової системи, яка використовує комплексну обробку даних, отриманих різними вимірювальними системами. Дані про абсолютну висоту зазвичай отримують від барометричного висотоміра.

Оскільки повідомлення ADS-B передаються в радіомовному режимі, їх може одержувати й обробляти будь-який відповідний приймач. Тому функція ADS-B підтримує як наземні, так і бортові види застосування спостереження. Для авіаційного спостереження встановлюються наземні станції, призначені для отримання і обробки повідомлень ADS-B. При бортовому застосуванні ПО, обладнані приймачами ADS-B, можуть обробляти повідомлення від інших ПО для визначення повітряної обстановки.

Для передачі даних ADS-B може використатися режим S, ES 1090 МГц (1090 ES). Засоби 1090 ES розроблялися як складові частини системи режиму S. Стандартна довжина сигналу режиму S становить 56 біт. Сигнал +1090 МГц ES містить додатковий 56-бітний блок даних з інформацією ADS-B. Тривалість кожного повідомлення ES становить 120 мкс (8 мкс преамбули та 112 мкс даних). Сигнали передаються на частоті 1090 МГц. Інформація ADS-B передається у вигляді окремих повідомлень, кожне з яких містить відповідний набір даних (наприклад, місце розташування і барометрична висота ПО, місце розташування на поверхні, швидкість, ідентифікаційний індекс і тип ПО, дані про аварійну обстановку). Дані про місцезнаходження і швидкість передаються два рази в секунду. Ідентифікаційний індекс ПО передається кожні 5 с.

ADS-X – інтеграція MLAT і ADS-B систем. Розширена ADS (Extended ADS-X) це інтеграції методів мультilaterації в інфраструктуру ADS-B спостереження. ADS-X підтримує повне охоплення парку ПО. Оскільки при мультilaterації використовуються сигнали всіх транспондерів (в режимах Mode A/C/S), мережа наземних станцій здатна визначити положення ПО без необхідності оснащення їх новою авіоні-

кою. Існує необхідність незалежного резервування, а також перевірки систем ADS-B ПО в самовизначенні свого місця розташування, шляхом включення можливості мультilaterації в мережі ADS-B, так як кожен звіт про місцезнаходження ADS-B буде перевірятися в режимі реального часу з використанням мультilaterації.

Виходячи з наведеного можливо зробити висновок, що всі системи кооперативного спостереження являють собою запитальні системи передачі даних. Дійсно вони мають канал передачі СЗ та канал передачі СВ. Для кодування інформації в цих системах застосовуються примітивні інтервально-часові та позиційні коди, що суттєво знижують інформаційну ємність каналів передачі даних, що розглядаються.

Побудова відповідачів ПО на принципах одноканальної системи масового обслуговування з відмовами та обслуговування першого правильно прийнятого сигналу запиту призводить до значного зменшення пропускної спроможності останнього

при дії в каналі запиту внутрісистемних та навмисних корельованих завад.

Дійсно, використання зазначених видів кодування сигналів потребує обирати ширину смуги пропускання приймачів значно більшу ширини спектрів сигналів, що використовуються, що, як наслідок, призводить до зниження завадостійкості цих кодів. Дійсно, можливо показати, що імовірність виявлення сигналів у КСС визначається як

$$P_n = \left\{ 1 - \left[ 0,5 + \Phi \left( \sqrt{2q_0 / (nk)} - x_0 \right) \right]^k \right\}^n,$$

де  $q_0 = q_k$  – відношення сигналу до завади, віднесенне до оптимальної смуги,  $k$  – відношення смуги пропускання приймача до оптимальної,  $n$  – значність коду.

Місце КСС у ІЗ користувачів розглянемо на прикладі районного диспетчерського обслуговування (рис. 2).

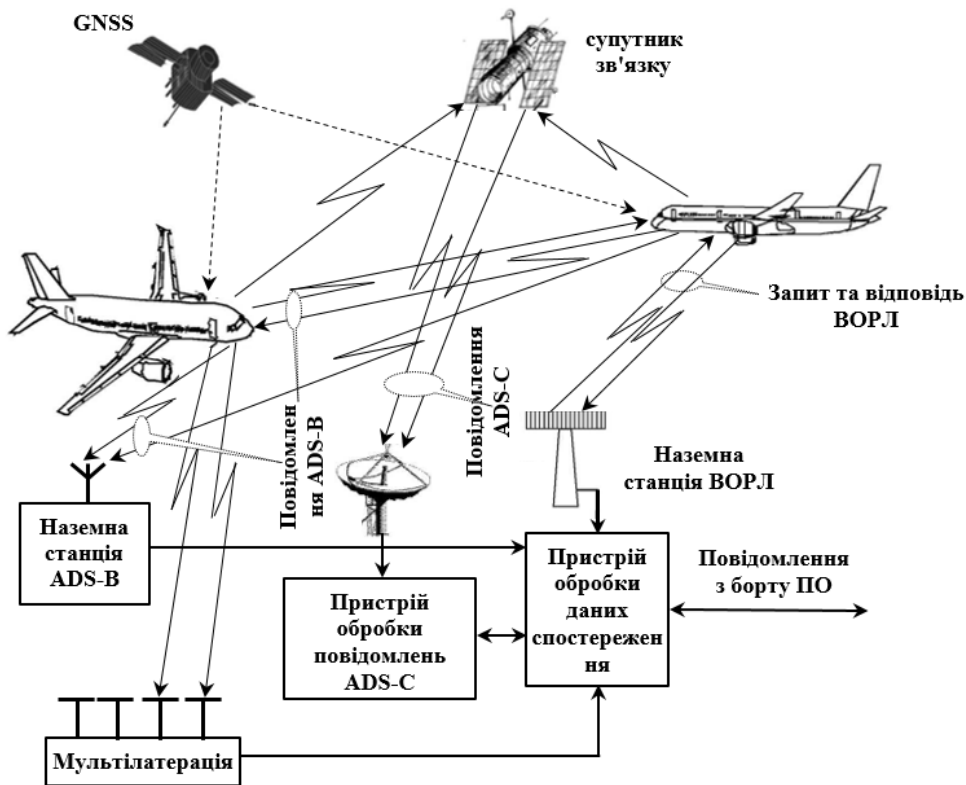


Рис. 2. Архітектура КСС для цілей районного диспетчерського обслуговування

Таким чином ІЗ районного диспетчерського обслуговування забезпечується, як правило, всіма розглянутими вище системами кооперативного спостереження. Для оцінки ефективності розглянутих кооперативних СС може використовуватися коефіцієнт частотної ефективності

$$\gamma = R / \Delta F, \quad (1)$$

де  $R$  – швидкість передачі інформації;  $\Delta F$  – ширина смуги частот, яка зайнята радіоканалом.

У кооперативних СС швидкість передачі інформації може бути визначена як

$$R = f(C_0, \vec{V}_m, \vec{V}_k, \vec{V}_{kan}, P_e), \quad (2)$$

де  $C_0$  – відносна пропускна спроможність відповідача;  $\vec{V}_m$  – вектор параметрів модуляції каналу відповіді;  $\vec{V}_k$  – вектор параметрів способу кодування каналу відповіді;  $\vec{V}_{kan}$  – вектор параметрів радіоканалу відповіді;  $P_e$  – імовірність помилки у каналі відповіді.

У свою чергу відносна пропускна спроможність відповідача може визначатися як

$$C_0 = f(t_p, k_r, k_z, \vec{V}_m, \vec{V}_k, \vec{V}_{kan}, P_0, P_e), \quad (3)$$

де  $t_p$  – час паралізації відповідача при обслуговуванні запиту;  $k_r$  – коефіцієнт розрядки відповідача;  $k_z$  – коефіцієнт максимальної завантаженості відповідача;  $\vec{V}_m$  – вектор параметрів модуляції каналу запиту;  $\vec{V}_k$  – вектор параметрів способу кодування у каналі запиту;  $\vec{V}_{kan}$  – вектор параметрів радіоканалу запиту;  $P_0$  – коефіцієнт готовності відповідача,  $P_e$  – імовірність помилки у каналі запиту.

Можливо показати, що коефіцієнт максимальної завантаженості та коефіцієнт готовності відповідача визначає потенційну швидкість передачі інформації у кооперативних СС. Це дозволяє обчислити кількість інформації, що передається кооперативними СС в одиницю часу та дозволяє визначити спектральну ефективність каналів передачі даних для режиму:

ідентифікації - 0,084;  
 передачі ПП - 0,0054;  
 С - 0,12,

при  $P_0 = 1$ . При зниженні  $P_0$  спектральна ефективність каналів передачі даних також знижується.

Наведені розрахунки показали, що використання принципів побудови, організації мережі, а також принцип обслуговування як СЗ так і користувачів суттєвим чином знижують технічні характеристики існуючих кооперативних СС.

## Висновки

Отримані показники спектральної ефективності каналів обміну інформацією в кооперативних СС показують значні недоліки обумовлені обраним принципом побудови розглядаємої СС, що показує низку якість інформаційного забезпечення користувачів системи контролю ПП при дії внутрісистемних та навмисних корельованих завад в каналах передачі інформації.

## АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КООПЕРАТИВНЫХ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ

А.С. Мальцев

Приводится сравнительный анализ информационной способности кооперативных систем наблюдения на основе коэффициента частотной эффективности. Показано, что принцип построения существующих кооперативных систем наблюдения, принцип обслуживания сигналов запроса информации и использованный метод модуляции сигналов существенно образом снижает информационную емкость этих информационных систем.

**Ключевые слова:** информационная способность, кооперативные системы наблюдения.

## ANALYSIS OF THE INFORMATION ABILITY OF JOINT OBSERVING SYSTEMS

O.S. Maltsev

The comparative analysis of the information ability of joint observing systems based on the frequency efficiency coefficient is presented. It is shown that the principle of constructing existing joint observing systems, the principle of servicing the information request signals and the used method of signal modulation significantly reduces the information capacity of these information systems.

**Keywords:** information capacity, joint observing systems.

## Список літератури

1. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации / А. Фарина, Ф. Студер. – М.: Радио и связь, 1993. – 319 с.
2. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. – СПб.: Политехника, 2004.
3. Моделирование аэронавигационных систем. Обработка информации та прийняття рішень у системі керування повітряним рухом: навч. посіб. / В.М. Васильєв, В.П. Харченко. – К.: НАУ, 2008. – 108 с.
4. Stevens M.C. Secondary Surveillance Radar / M.C. Stevens. - Artech House, 1988.-345 с.
5. Обод І.І. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору / І.І.Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич. – Х.: ХНУРЕ, 2015. -270 с.
6. Обод І.І. Обробка даних систем спостереження повітряного простору: монографія. За заг. ред. І.І. Обод / І.І. Обод, Г.Е. Заволодько. – Харків: НТУ «ХПИ», 2016. – 281 с.
7. Ahmadi Y., Mohamedpour K., Ahmadi M.: Deinterleaving of Interfering Radars Signals in Identification Friend or Foe Systems, 18th Telecommunications forum TELFOR 2010, Serbia, Belgrade, November 23-25, 2010.
8. Garcia M.L. Test For Success: Next Generation Aircraft Identification System RF Simulation / M.L. Garcia. - IEEE ICNS '07, 007.
9. Li Wan Chun. A robust TDOA-based location method and its performance analysis / Li Wan Chun, Wei Ping, Xiao Xianci // Science in China Press. – 2009.
10. Pourvoyeur, K.; Mathias, A.; Heidger, R. Investigation of Measurement Characteristics of MLAT/WAM and ADS-B. In Proceedings of the Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications-Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles (TIWDC/ESAV), Capri, Italy, 12–14 September 2011; pp. 203–206.
11. Zhang, J.; Liu, W.; Zhu, Y. Study of ADS-B data evaluation. Chin. J. Aeronaut. 2011, 24, 461–466.
12. Leonardi, M.; Mathias, A.; Galati, G. Two efficient localization algorithms for multilateration. Int. J. Microw. Wirel. Technol. 2009, 1, 223–229.

Надійшла до редколегії 23.11.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.



А.С. Могілатенко<sup>1</sup>, Д.М. Обідін<sup>2</sup>, О.П. Кондратенко<sup>3</sup>, В.М. Руденко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Військова частина А2183

<sup>2</sup> Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

<sup>3</sup> Національна академія Національної гвардії України, Харків

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЮ ІНФОРМАЦІЄЮ РЕГІОНАЛЬНИХ ЦЕНТРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

*Необхідність практичного вирішення завдання забезпечення регіонального центру повітряного руху радіолокаційною інформацією з необхідною повнотою і точністю та недостатня розвиненість теоретичної бази для її вирішення, зумовлюють актуальність наукової задачі розробки методу формування та видачі повідомлень про повітряні об'єкти від джерел радіолокаційної інформації на регіональний центр управління повітряним рухом, адаптивного до змін продуктивності джерел радіолокаційної інформації і пропускної здатності каналів передачі даних.*

**Ключові слова:** аналіз, обробка, управління, інформація.

### Вступ та аналіз завдання

Аналіз змісту процесу забезпечення радіолокаційною інформацією регіональних центрів управління повітряним рухом. Необхідною умовою вирішення задач управління на центрах управління повітряним рухом (ЦУПР) є наявність радіолокаційної інформації (РЛІ) про повітряні об'єкти (ПО). Забезпечення радіолокаційною інформацією центрів управління повітряним рухом є однією з функцій АСУ центрів управління повітряним рухом і являє собою сукупність взаємопов'язаних заходів по виявленню, збору, обробці, аналізу і видачі даних про повітряні об'єкти від джерел радіолокаційної інформації на центри управління повітряним рухом.

Під радіолокаційною інформацією про повітряні об'єкти в АСУ розуміють набір відомостей у вигляді формалізованих повідомлень про повітряні об'єкти, здобутих в ході радіолокаційної розвідки засобами активної і пасивної локації. Повідомлення про повітряні об'єкти складається з інформаційних елементів, які являють собою блоки даних в двійковому вигляді зі смисловим змістом, визначеним керівними документами: номер, місце розташування та час виявлення повітряних об'єктів; ознака розпізнавання державної приналежності; висота, склад, тип повітряних об'єктів; ознаки маневру по курсу, висоті і швидкості; ознаки застосування перешкод та ін. Повідомлення про повітряні об'єкти формується і видаються джерелами РЛІ.

Можна виділити ряд топологічних особливостей підсистеми забезпечення РЛІ ЦУПР:

1. Підсистема забезпечення радіолокаційною інформацією регіонального центра управління повітряним рухом має складну структуру і інформація про ПО від джерел радіолокаційної інформації може надходити на регіональний центр управління повітряним рухом через кілька ланок управління.

2. Основними напрямками видачі радіолокаційної інформації є напрямки по вертикалі управління, тобто між підлеглими і вище стоячими ЦУПР. Разом з тим, наявність інформаційних зв'язків між ЦУПР одного рівня ієрархії в АСУ регіонального ЦУПР дозволяє організувати видачу РЛІ по обхідних маршрутах для підвищення живучості.

3. Наявність територіально рознесених джерел і споживачів РЛІ в АСУ регіонального ЦУПР обумовлює необхідність використання протяжних каналів передачі даних.

Перераховані особливості підсистеми забезпечення РЛІ регіонального ЦУПР визначають порядок вирішення задач цієї підсистемою. До таких завдань відносяться: радіолокаційне спостереження за повітряним простором, збір, обробка та аналіз РЛІ, формування і видача повідомлень про ПО споживачам. Проведемо аналіз цих задач. Радіолокаційне спостереження в районі відповідальності ЦУПР і на підступах до нього засноване на певному порядку розміщення радіолокаційних засобів для створення суцільного радіолокаційного поля для своєчасного виявлення, упізнання, розпізнавання і безперервного супроводу ПО. Особливості вирішення завдань процесу забезпечення радіолокаційною інформацією ЦУПР обумовлені принципами радіолокаційного спостереження: циклічний принцип огляду повітряного простору радіолокаційними засобами [1] визначає дискретний характер поновлення, обробки і видачі РЛІ; принцип перекриття зон виявлення РЛІ для забезпечення надійного радіолокаційного спостереження призводить до дублювання радіолокаційної інформації, що вимагає усунення надмірності даних про ПО [2]; принципи радіолокації обумовлюють наявність помилок вимірювання координат ПО, що вимагає обліку точності радіолокаційної інформації при її обробці [1].

З урахуванням перерахованих особливостей вирішується задача збору РЛІ, яка складається в

зосередженому і цілеспрямованому відборі необхідних даних про ПО на відповідних ЦУПР. При цьому здійснюється управління процесом збору, що складається у виборі джерел і регулюванні потоків РЛІ, виходячи з поставлених задач, умов обстановки, складу даних, які видаються цими джерелами. Під потоком РЛІ розуміють рух даних в каналі передачі даних у вигляді повідомлень про ПО з певною швидкістю, що називається щільністю потоку [2].

Особлива увага при зборі РЛІ звертається на переважання в ланках управління АСУ. Переважання являють собою ситуації, коли вхідний потік РЛІ не може бути повністю оброблений на ЦУПР і виданий споживачам зі встановленою дискретністю, тобто встановленим інтервалом часу між сусідніми повідомленнями про одне ПО. Це може бути викликано обмеженою продуктивністю АСУ та недостатньою пропускною спроможністю каналів передачі даних з причин їх радіоелектронного придушення, а також збільшення щільності потоку повідомлень про ПО. При цьому пропускна здатність визначає максимально можливу швидкість передачі даних по каналу, а продуктивність джерела РЛІ визначає кількість інформації про ПО, що видається в одиницю часу і може бути розрахована за формулою:

$$G = \frac{n \cdot L}{T} = n \cdot \left( \sum_{i=1}^k l_i + s \right) / T, \quad (1)$$

де  $G$  - продуктивність джерела РЛІ, біт/с;  $n$  - кількість ПО, за якими видаються повідомлення від джерела РЛІ;  $L$  - розмір повідомлення про ПО, біт;  $T$  - період поновлення інформації про ПО, с;  $k$  - кількість інформаційних елементів в повідомленні про ПО;  $l_i$  - розмір  $i$ -го інформаційного елемента, біт;  $s$  - кількість службової інформації і розрядів, що не використовуються, біт.

Пропускна спроможність може бути визначена за формулою Шеннона [3]:

$$C = F \cdot \log_2 (1 + P_c / P_{ш}), \quad (2)$$

де  $C$  - пропускна здатність каналу передачі даних, біт / с;  $F$  - ширина смуги пропускання каналу, Гц;  $P_c$ ,  $P_{ш}$  - потужність сигналу і потужність шуму, Вт.

Пропускна здатність у формулі (2) визначає лише теоретично досяжне максимальне значення швидкості передачі даних. Тому в подальшому під пропускною спроможністю каналу будемо розуміти максимальну реалізовану швидкість передачі даних при заданій ймовірності помилки біта і позначати символом  $C$ . Разом з тим, залежність (2) дозволяє визначити шляхи підвищення максимально реалізованої швидкості передачі даних в каналі.

Таким чином, причини переважання в ланках збору РЛІ можуть привести до перевищення продуктивності джерел РЛІ над пропускною спроможністю каналів передачі даних. При такій неузгодженості між продуктивністю джерел і пропускною спроможністю каналів передачі даних, що забезпечуються

ЦУПР будуть отримувати РЛІ не в повному обсязі, що впливає на якість рішення задач обробки та аналізу РЛІ на цих ЦУПР.

Обробка РЛІ включає перевірку достовірності здобутих відомостей, формування трас польоту цілей, ототожнення і зіставлення інформації від декількох джерел. При цьому важлива точність РЛІ [4], яка характеризує розбіжності між фактичними і відображеними значеннями координат ПО. Як показник точності використовують середньоквадратичну помилку координат (с.к.п.) ПО:

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i^2}, \quad (3)$$

де  $\delta_i$  - відстань між істинним і  $i$ -м вимірним положенням ПО.

Після обробки РЛІ на ЦУПР здійснюють аналіз отриманої інформації, який включає критичне осмислення, логічне зіставлення і узагальнення наявних відомостей для підвищення їх достовірності і виявлення узагальненої інформації. Однією з найбільш важливих характеристик, що впливають на результати аналізу РЛІ, являється повнота забезпечення РЛІ.

Після обробки та аналізу зібраної РЛІ формуються повідомлення про ПО і здійснюється їх видача споживачам відповідно до встановленого порядку. Формування повідомлення про ПО полягає у визначенні складу інформаційних елементів і присвоєння їм певних значень. Безпосередньо видача і прийом повідомлень про ПО між ЦУПР в АСУ регіонального ЦУПР здійснюється за допомогою системи передачі даних (СПД), яка об'єднує апаратуру передачі даних (АПД) джерел і споживачів радіолокаційної інформації за допомогою каналів передачі даних. Використовувана в АСУ регіонального ЦУПР СПД базується на первинній мережі зв'язку, яка морально застаріла (тільки 30% засобів зв'язку можна вважати сучасними) і має низьку структурну живучість. Таким чином, з проведеного аналізу змісту процесу забезпечення радіолокаційною інформацією регіональних ЦУПР можна виділити ряд його особливостей: різке зростання щільності інформаційного потоку повідомлень про ПО по каналах передачі даних; зменшення кількості стаціонарних ЦУПР, вузлів зв'язку та каналів передачі даних в результаті їх придушення; зниження пропускної здатності радіоканалів передачі даних або вихід їх з ладу в результаті РЕП; збільшення щільності потоку повідомлень про ПО на обхідних маршрутах за рахунок додаткової радіолокаційної інформації від взаємодіючих джерел; моральне старіння і низька структурна живучість первинної мережі зв'язку, на якій базується СПД в АСУ регіонального ЦУПР. Зазначені особливості можуть призвести до неузгодженості між продуктивністю джерел РЛІ і пропускною спроможністю каналів передачі даних. Для усунення такої неузгодженості між продуктивністю джерела РЛІ і пропускною спроможністю каналу передачі даних можна

використовувати ряд методів, що застосовуються в АСУ регіональних ЦУПР і в сучасних СПД [3].

**Аналіз існуючих методів узгодження продуктивності джерела радіолокаційної інформації з пропускною спроможністю каналу передачі даних.** Проведемо аналіз методів узгодження продуктивності джерел РЛІ з пропускною спроможністю каналів передачі даних в існуючих АСУ регіонального ЦУПР.

**АСУ «Луч-1».** Основними джерелами РЛІ в АСУ «Луч-1» є КЗА «Межа», КЗА «Низина-Н». Ці КЗА володіють низькими можливостями по супроводу ПО і видачі РЛІ: 50 ПО з  $T = 10$  с. у КЗА «Межа» та 10 ПО з  $T = 10$  с. у КЗА «Низина-Н». Повідомлення про ПО в обох джерел мають фіксований розмір і склад інформаційних елементів.

У разі перевищення кількості ПО, діючих в зоні інформації над інформаційними можливостями КЗА, в АСУ «Луч-1» застосовується метод селекції ПО: ЦУПР приймає від регіонального ЦУПР розпорядження про зняття з супроводження зазначених ПО. Разом з тим, застосування методу селекції ПО може вносити спотворення в реальну картину повітряної обстановки, так як не всі ПО видаються споживачеві. Таким чином, селекція ПО для їх видачі знижує повноту забезпечення РЛІ споживача.

При виході з ладу каналів передачі даних через придушення джерела РЛІ в АСУ «Луч-1» переходять на запасні канали передачі даних. Разом з тим, з огляду на інтенсивне придушення СПД, застосування запасних каналів передачі даних, що використовують той самий маршрут передачі даних, може виявитися практично неможливим.

**АСУ «Луч-2».** Основні джерела РЛІ в АСУ регіонального ЦУПР «Луч-2»: КЗА «Межа-М», що забезпечує видачу 50 ПО з  $T = 10$  с, і КЗА «Низина-У», що забезпечує видачу 20 ПО з  $T = 10$  с. Для усунення неузгодженості продуктивності цих джерел РЛІ і пропускною здатністю каналів передачі даних впливають ті ж методи, що і в АСУ «Луч-1». При цьому, в КЗА «Низина-У» є можливість збільшити дискретність видачі повідомлень по ПО до 20 с. Однак дискретність поновлення РЛІ впливає на її точність, так як за час інтервалу між сусідніми повідомленнями розташування ПО може істотно змінитися. Збільшення дискретності видачі координат призводить до збільшення розривів трас і навіть до скидання ПО з супроводу.

В якості додаткових джерел РЛІ в АСУ «Луч-2» використовуються взаємодіючі ЦУПР, оснащені КЗА «Протон-2» і КЗА «Алмаз-2». Суть методу групування полягає в об'єднанні кількох ПО, що потрапляють в заданий просторовий строб і відповідають додатковим умовам, в один згрупований ПО з координатами головного ПО, розміщеного в середині переднього фронту строба. При цьому РЛІ видається по груповому ПО із зазначенням строба групування і кількості згрупованих в ньому ПО. Розміри строба групування по фронту і глибині можуть змінюватися від  $40 \times 40$  км. до  $100 \times 200$  км. Всі джерела РЛІ в АСУ «Луч-3»

видають повідомлення про ПО з фіксованим розміром і складом інформаційних елементів. У разі виходу з ладу каналів передачі даних джерела РЛІ переходять на запасні канали, однак така можливість обмежена інтенсивним вогневим придушенням СПД в сучасних умовах бойових дій.

**АСУ «Луч-3».** В якості джерел РЛІ в АСУ «Луч-3» можуть використовуватися ті ж основні джерела, що і в «Луч-2» а також ряд нових джерел з фіксованим розміром і складом повідомлень про ПО, які використовують спеціальні протоколи для узгодження продуктивності цих джерел з пропускною спроможністю каналів передачі даних. Так КЗА «Поле» видає на регіональний ЦУПР 1 раз за 20 с. кодограму про завантаження (кількості супроводжуваних ПО). Ця інформація аналізується на ЦУПР і при наближенні завантаження до максимального вирішується задача про розвантаження КЗА. ЦУПР розвантажуються видачею на них дозволів не супроводжувати зазначені ПО. Як зазначалося раніше, таке обмеження потоку повідомлень про ПО, що видаються, призводить до зменшення повноти забезпечення РЛІ споживача, що спотворює реальну картину повітряної обстановки. При виході з ладу каналів передачі даних джерела РЛІ переходять на запасні канали, що може бути не піддається реалізації через інтенсивне вогневе придушення СПД.

**АСУ «Піраміда».** В якості джерела РЛІ в АСУ «Піраміда» [5] можуть використовуватися ті ж джерела, що і в АСУ «Луч-3», а також ряд нових джерел: КЗА «Основа-1», з видачею РЛІ про 120 ПО за 10 с; КЗА «Протон-2М-1», з такими ж інформаційними здібностями як у «Протон-2»; КЗА «Універсал»; КЗА «Поляна-Д4», з видачею РЛІ про 80 ПО за 10 с.

АСУ «Піраміда» є подальшим розвитком АСУ «Луч-3» за рахунок модернізації різних ланок комплексів технічних засобів, програмного і математичного забезпечення. Принципи узгодження продуктивності джерел РЛІ з пропускною спроможністю каналів передачі даних в АСУ «Піраміда» аналогічні тим, що використовуються в АСУ «Луч-3», що також призводить до зниження повноти і точності забезпечення РЛІ споживачів.

**АСУ «Бор-1».** АСУ регіонального ЦУПР республіки Білорусь створена на основі об'єднання локальних обчислювальних мереж (ЛОМ) окремих ЦУПР. Вона здатна здійснювати збір та відображення РЛІ, вибрати оптимальний варіант їх розподілу. Ця мережа передачі даних базується на використанні протоколу передачі даних з комутацією пакетів по стандарту X.25. Отже, основним методом усунення неузгодженості продуктивності джерела РЛІ і пропускної здатності каналу передачі даних в АСУ «Бор-1» є використання різних маршрутів передачі РЛІ, тобто маршрутизація. Разом з тим, використання маршрутизації при передачі РЛІ вимагає обліку завантаження обхідних маршрутів, так як передача по ним транзитної інформації великого обсягу може привести до перевантажень каналів пере-

дачі даних. АСУ регіонального ЦУПР нового покоління «Бор-1» створена на основі об'єднання ЛОМ окремих ЦУПР з використанням технології взаємодії відкритих систем. Така технологія має на увазі незалежність використовуваних типів апаратури передачі даних (АПД) (модемів) і протоколів передачі інформації від конкретної реалізації КЗА ЦУПР. Це дозволяє використовувати різні методи стиснення даних. При цьому стиснення даних – представлення даних меншим числом бітів в порівнянні з початковим [2].

Відомі методи стиснення спрямовані на зниження надмірності, викликані як нерівною апріорною ймовірністю значень інформаційних елементів в потоці даних, так і залежністю між значеннями послідовних інформаційних елементів. Ефективність методів стиснення оцінюють коефіцієнтом стиснення, який дорівнює відношенню початкового об'єму даних до об'єму стиснених даних. При цьому стиснення буває з втратами і без втрат. Втрати допустимі при стисненні (і відновленні) деяких специфічних видів даних, таких як відео- і аудіо інформації. Якщо відновлені дані збігаються з даними, які були до стиснення, то говорять про стиснення без втрат. Саме такого роду методи стиснення застосовуються при передачі інформації в СПД [5].

На сьогоднішній день існує безліч методів стиснення даних без втрат, що поділяються на кілька основних груп [5, 7]: методи кодування повторів; імовірнісні методи стиснення; арифметичні методи стиснення; словникові методи стиснення.

Принцип кодування повторів є найбільш простим і застосовується в основному для стиснення графічних файлів. Потік РЛІ, що видається від джерела, не володіє властивостями повторюваності значень в послідовних інформаційних елементах, що обумовлено їх різномірною семантичною інтерпретацією. Тому кодування повторів для стиснення РЛІ буде неефективним. В основі імовірнісного стиснення лежать ідеї методів ефективного кодування Шеннона-Фано і Хаффмена [6]. Разом з тим, отримати розподіл ймовірностей значень інформаційних елементів в повідомленнях про ПО не вдається з огляду на те, що на випадковий характер їх зміни впливають причини нестохастичної природи.

При використанні арифметичного кодування рядок інформаційних елементів замінюється дійсним числом більше нуля і менше одиниці. Арифметичне кодування дозволяє забезпечити високий коефіцієнт стиснення в тих випадках, коли стискаються дані, де частота появи різних інформаційних елементів сильно варіюється [5, 6]. Такі випадки не характерні для потоку РЛІ, і процедура арифметичного кодування може не забезпечити узгодження продуктивності джерела РЛІ з пропускнуною спроможністю каналу передачі даних.

В основі методу словників [5] лежить ідея заміни кодових послідовностей, що найбільш часто зустрічаються, в переданому потоці посиланнями на

«зразки», що зберігаються в спеціально створеній таблиці (словнику). Але повідомлення про ПО мають обмежений розмір, який визначається складом необхідних відомостей про ПО, що може не забезпечити узгодження продуктивності джерела РЛІ з пропускнуною спроможністю каналу передачі даних при використанні словникових методів стиснення.

**АСУ ACCS.** Принципи організації забезпечення споживачів РЛІ в АСУ в Європі «ACCS» відрізняються від використовуваних в раніше розглянутих АСУ ЦУПР. Застосування мережевих технологій побудови АСУ «ACCS» дозволяє організувати ЦУПР на базі локальних обчислювальних мереж різної топології. Взаємодія між цими ЦУПР здійснюється за рахунок їх об'єднання в глобальну мережу з декількома рівнями ієрархії. Для зменшення надмірності циркулюючої РЛІ в такий АСУ використовуються два підходи. Перший підхід спрямований на обмеження потоків РЛІ, що видається, між рівнями ієрархії за рахунок відбору релевантної інформації за напрямками видачі за допомогою спеціальних буферів. Другий підхід полягає в відборі споживачами тільки тієї інформації з потоку РЛІ, яка їм необхідна. У разі виникнення перевантажень каналів передачі даних в АСУ «ACCS» використовується маршрутизація повідомлень про ПО, що видаються, і стиснення даних. При цьому повідомлення про ПО стандартизовані за складом РЛІ і розміром – 320 біт. При виході з ладу каналів передачі даних джерела РЛІ в АСУ «ACCS» переходять на запасні канали передачі даних. Аналіз даних методів проведено в розглянутих вище АСУ ЦУПР. Розглянуті АСУ ЦУПР можна умовно розділити за часом їх створення на АСУ старого покоління і нового. АСУ старого покоління «Луч-1 (2,3)» і «Піраміда» були розроблені в 70...80-х роках, і особливістю їх є суворе обмеження на кількість і типи КЗА, що входять до складу АСУ, а також строго певні типи АПД і протоколи для обміну інформацією між конкретними КЗА. Тому АСУ регіонального ЦУПР старого покоління являє собою закриту розподілену систему, для якої додавання заздалегідь не передбачених елементів вимагає зміни апаратного або програмного забезпечення існуючих елементів цієї системи. Таким чином, існуючі методи узгодження продуктивності джерела РЛІ з пропускнуною спроможністю каналу передачі даних можна розділити на дві групи за принципом узгодження: методи, спрямовані на збільшення або відновлення пропускнуною здатності С – будемо називати їх канальними методами: виділення додаткових каналів передачі даних та використання запасних каналів; маршрутизація повідомлень про ПО; методи, спрямовані на зменшення продуктивності джерел РЛІ G – будемо називати їх інформаційними методами: групування (укрупнення) ПО; селекція (відбір) ПО для їх видачі; збільшення дискретності видачі РЛІ для всіх ПО; стиснення даних.

Разом з тим, застосування канальних методів, пов'язаних з використанням додаткових або запасних каналів передачі даних може виявитися практи-

чно неможливим, зважаючи на інтенсивне придушення СПД. Тому в подальших дослідженнях ці методи розглядатися не будуть.

Зі змісту методів групування, селекції і збільшення дискретності видачі РЛІ видно, що їх застосування вносить спотворення в реальну картину повітряної обстановки і призводить до зниження повноти і точності забезпечення РЛІ споживача.

Застосування існуючих методів стиснення даних для зменшення щільності потоку РЛІ на 33,3% (що призведе до узгодження між продуктивністю джерела РЛІ, збільшеної на 50%, і пропускнуною спроможністю каналу ПД) вимагатиме досягнення коефіцієнта стиснення  $K_{ст} > 1,5$ , інакше їх застосування знижує повноту забезпечення РЛІ регіонального ЦУПР. При цьому необхідно оцінити можливість такого стиснення, так як потік РЛІ, як показано раніше, не володіє необхідними властивостями для прийняттого стиснення існуючими методами.

Таким чином, в зв'язку з зазначеними недоліками існуючих методів узгодження джерел РЛІ з пропускнуною спроможністю каналів передачі даних, необхідно провести оцінку достатньої повноти і точності забезпечення РЛІ регіонального ЦУПР і впливу методів збільшення дискретності видачі РЛІ, групування і селекції ПО, а також існуючих методів стиснення даних на зазначені характеристики якості забезпечення РЛІ регіонального ЦУПР.

### Результати досліджень

**Оцінка повноти і точності забезпечення радіолокаційної інформацією регіонального центру управління повітряним рухом.** Найвищі вимоги до якості РЛІ на регіональному ЦУПР пред'являються при її видачі на активні засоби. Тому визначимо достатню точність і повноту забезпечення РЛІ регіонального ЦУПР для видачі цілевказівки на ЦУПР.

Вимоги до точності забезпечення РЛІ. Від точності видачі РЛІ залежить ймовірність беспощадного виявлення цілевказівки ЦУПР:

$$P_{ЦУ} = \Phi\left(\frac{0,5 \cdot R_D}{\sigma_D}\right) \cdot \Phi\left(\frac{0,5 \cdot R_\beta}{\sigma_\beta}\right) \cdot \Phi\left(\frac{0,5 \cdot R_\epsilon}{\sigma_\epsilon}\right), \quad (4)$$

де  $\Phi$  – функція Лапласа;  $R_D$ ,  $R_\beta$ ,  $R_\epsilon$  – розміри простору по дальності, азимуту і куту місця, що проглядаються на індикаторах ЦУПР;  $\sigma_D$ ,  $\sigma_\beta$ ,  $\sigma_\epsilon$  – с.к.в. РЛІ по дальності, азимуту і куту місця.

Припускаючи, що помилки цілевказівки в основному визначаються помилками по азимуту і куту місця і вони однакові, з виразу (4) отримуємо:

$$\sigma_\beta = \sigma_\epsilon = \sqrt{\sigma_{\beta\text{би}}^2 + \sigma_{\beta\text{сир}}^2} \leq 0,5 \cdot R_{\beta(\epsilon)} / \Phi^{-1}\left(\sqrt{P_{ЦУ}}\right), \quad (5)$$

де  $\sigma_{\beta\text{би}}$ ,  $\sigma_{\beta\text{сир}}$  – с.к.в. видачі РЛІ і визначення координат ЦУПР;  $\Phi^{-1}$  – зворотня функція Лапласа.

**Вимоги до повноти забезпечення РЛІ.** Як показник повноти забезпечення РЛІ споживачів в АСУ ЦУПР використовують коефіцієнт провідки трас:

$$K_{пр} = \frac{N_B}{N_B + N_{НВ}} = 1 - \frac{N_{НВ}}{N_B + N_{НВ}}, \quad (6)$$

де  $N_B$  – кількість ПО, за якими видається РЛІ з необхідною якістю;  $N_{НВ}$  – кількість діючих ПО, за якими не видається РЛІ. Оцінимо відповідність отриманим вимогам до точності і повноти забезпечення РЛІ регіонального ЦУПР при використанні інформаційних методів узгодження пропускнуною спроможності каналів передачі даних з продуктивністю джерел РЛІ.

Оцінимо вплив збільшення дискретності видачі РЛІ на її точність при забезпеченні РЛІ регіонального ЦУПР. Існуючі КЗА, що виступають в якості основних джерел РЛІ, забезпечують регіональне ЦУПР РЛІ з необхідною точністю  $\sigma_{xy} \leq 1000$  м при дискретності видачі РЛІ  $T = 10$  с. Така дискретність визначається періодом огляду простору первинними джерелами – РЛС. Тому одночасне збільшення дискретності видачі РЛІ споживачам по всім ПО еквівалентно видачі РЛІ від ЦУПР джерела не в кожному періоді її поновлення від підлеглих джерел, а в кожному другому або третьому і т.д. періодах. Отже, мінімальне збільшення дискретності видачі РЛІ при такому підході складе  $2T$ . У цьому випадку, на регіональному ЦУПР необхідно буде екстрапольовати координати ПО в пропущених циклах поновлення РЛІ для забезпечення безперервної видачі ЦУПР. При цьому с.к.в. екстрапольованих координат цілі при використанні моделі прямолінійного рівномірного руху ПО дорівнює

$$\sigma_{e(k+1)}^2 = \sigma_{рлс}^2 \cdot 2 \cdot (2 \cdot k^2 + 3 \cdot k + 1) / (k \cdot (k^2 - 1)), \quad (7)$$

де  $k$  – кількість попередніх циклів поновлення РЛІ, що враховуються при екстраполяції на  $k + 1$  цикл.

В існуючих АСУ прийнято обмежувати  $k=8$  через зниження чутливості супроводження до невеликим маневрів цілі, що забезпечує точність РЛІ при видачі  $\sigma_{xy} = 0,6 \sigma_{рлс}$ . Тому, за умови безперервного супроводу ПО джерелом РЛІ, с.к.в. екстрапольованих координат ПО на регіональному ЦУПР в пропущених циклах видачі за формулою (7) складе  $\sigma_e = 1,33\sigma_{xy}$ . Для випадку мінімального збільшення дискретності видачі РЛІ від джерела в 2 рази кожна друга відмітка про ПО при видачі її з регіонального ЦУПР на ЦУПРД буде екстрапольованою. Тоді для визначення с.к.в. РЛІ слід провести перетворення виразу (3):

$$\begin{aligned} \sigma_{xy} &= \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \delta_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \left( \sum_{m=1}^1 \delta_m^2 + \sum_{k=1}^{n-1} \delta_k^2 \right)} = \\ &= \sqrt{\sigma_m^2/n + \sigma_k^2 \cdot n/(n-1)}, \end{aligned} \quad (8)$$

де  $n$  – кількість повідомлень про ПО, виданих з регіонального ЦУПР;  $\delta_m$ ,  $\delta_k$  – помилки координат для  $m$ -го ПО, отриманого на регіональному ЦУПР від джерела РЛІ, і для  $k$ -го екстрапольованого ПО;  $1$  – кількість повідомлень про ПО, що надійшли від джерела РЛІ на регіональний ЦУПР;  $n-1$  – кількість

екстрапольованих відміток ПО на регіональному ЦУПР.

Для випадку збільшеної дискретності видачі в 2 рази відповідно до виразу (8) отримаємо:

$$\sigma_{xy2T} = \sqrt{(\sigma_c^2 + \sigma_{xy}^2) / 2} = 1,18 \cdot \sigma_{xy}.$$

Тому, за умови  $\delta_{xy} \leq 1000$  м і безперервного супроводу ПО з прямолінійним і рівномірним рухом точність видачі РЛІ на регіональному ЦУПР  $\sigma_{xy2T}$  може виявитися нижче необхідної. Разом з тим, реальний рух ПО не завжди відповідає обраній моделі, а радіолокаційне спостереження носить епізодичний характер, що ще більше знижує точність РЛІ. Результати моделювання показують, що при збільшенні дискретності видачі повідомлень про ПО в 2 рази точність видачі РЛІ не задовольняє встановленим параметрам. Оцінимо вплив методу групування ПО на точність видачі РЛІ.

Помилка положення пригрупованих ПО визначається відстанню від них до головної мети. Припускаючи рівномірний розподіл ПО в межах квадратного строга групування, можна оцінити с.к.п. координат пригрупованих ПО  $\sigma_{xp}$  щодо центру строга:

$$\sigma_{xp} = \lambda / (2 \cdot \sqrt{3}), \sigma_{xup} = \sqrt{\sigma_{xp}^2 + \sigma_{yp}^2} = 0,41 \cdot \lambda, \quad (9)$$

де  $\lambda$  - розмір квадратного строга групування по фронту або в глибину, м. З урахуванням точності РЛІ по головному ПО визначимо с.к.в. координат пригрупованих ПО  $\sigma_{xup}$  щодо головного ПО:

$$\sigma_{xupr} = \sqrt{\sigma_{xup}^2 + \sigma_{yup}^2}. \quad (10)$$

При групуванні 33,3% ПО для необхідного зменшення щільності потоку даних, РЛІ за цими ПО буде видаватися з точністю  $\sigma_{xupr}$ , а по іншим ПО з точністю  $\sigma_{xy}$ . Тоді використовуючи вирази (8-10) можна оцінити відповідність с.к.в. видачі РЛІ при використанні методу групування пропонованим вимогам до точності:

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_{xupr} &= \sqrt{0,33\sigma_{xupr}^2 + 0,67} = \\ &= \sqrt{0,33(0,41^2\lambda^2 + \sigma_{xy}^2) + 0,67\sigma_{xy}^2} \leq 1 \text{ км}. \end{aligned} \quad (11)$$

Графічне рішення нерівності (11), представлено заштрихованою областю на рис. 1, дозволяє визначити область відповідності між розмірами строга групування і точністю РЛІ по незгрупованих ПО. Але обмеження відстаней між ПО та точність характеристик джерел не дозволяють забезпечити таку відповідність (рис. 1). Результати моделювання показують, що при групуванні 33,3% ПО точність видачі РЛІ не задовольняє встановленим параметрам.

Оцінимо вплив методу селекції ПО на повноту забезпечення РЛІ регіонального ЦУПР. При використанні цього методу джерела РЛІ припиняють видачу

повідомлень про деякі ПО, вказаних споживачем. У разі припинення видачі РЛІ по 33,3% ПО для узгодження продуктивності джерела РЛІ з пропускною спроможністю каналу передачі даних коефіцієнт проводки складе відповідно до виразу  $1,8 K_{np} = 0,67$ , що не задовольняє вимогам до повноти забезпечення радіолокаційною інформацією регіонального центру управління повітряним рухом.

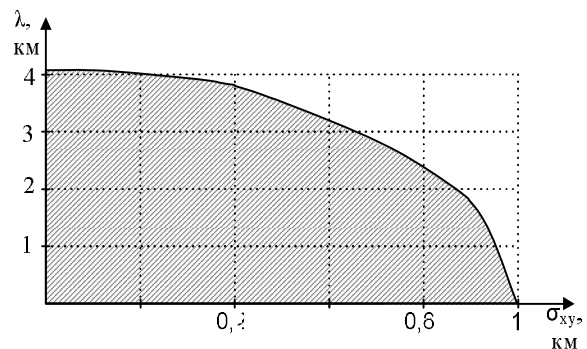


Рис. 1. Графік залежності розмірів строга групування  $\lambda$  від точності РЛІ по незгрупованих ПО  $\sigma_{xy}$

Оцінимо коефіцієнти стиснення РЛІ при використанні міжнародних стандартів стиснення даних по протоколах MNP5, MNP7, V.42bis, V.44, які реалізовані в сучасних модемах. Ці протоколи являють собою комбінації розглянутих в п.2 методів стиснення, а також набір правил узгодження параметрів стиснення даних.

Так протокол MNP5 реалізує кодування повторів із застосуванням коду Хаффмена. Протокол MNP7 використовує поліпшену форму кодування методом Хаффмена в поєднанні з марківським алгоритмом прогнозування. У протоколі V.42bis реалізований метод стиснення словникового типу, а в протоколі V.44 - його модифікація для використання в апаратурі супутникового зв'язку.

В результаті оцінки ефективності зазначених протоколів стиснення при передачі РЛІ отриманий графік залежності коефіцієнта стиснення  $K_{ст}$  від максимального розміру блоку даних  $L$ , що стискається, який можна встановлювати в сучасних модемах з наступного набору значень: 32, 64, 128, 256 байт (рис. 2).

Розміри повідомлень про повітряні об'єкти обмежені складом необхідних відомостей і не перевищують 32-х байт в АСУ центрів управління повітряним рухом старого покоління і 64-х байт в АСУ нового покоління. На рис. 2 показано, що потоку 32-байтових повідомлень відповідає  $K_{ст} = 1,25$ , а потоку 64-байтових повідомлень -  $K_{ст} = 1,3$ . Тоді при необхідному  $K_{ст} \geq 1,5$  значення  $K_{np}$  при передачі 32-байтових повідомлень складе  $K_{np} = 1,25 / 1,5 = 0,83$ , а 64-байтових повідомлень -  $K_{np} = 1,3 / 1,5 = 0,87$ , що не відповідає вимогам до повноти забезпечення радіолокаційною інформацією центрів управління повітряним рухом.

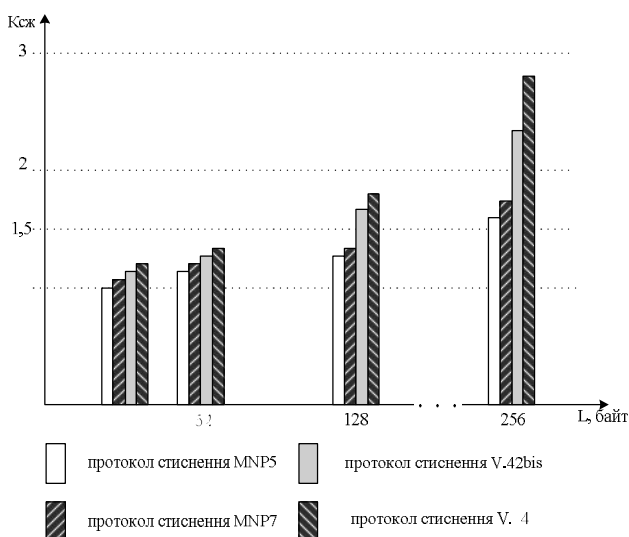


Рис. 2. Графік залежності коефіцієнта стиснення  $K_{ст}$  від максимального розміру блоку даних  $L$ , що стискається, для стандартних протоколів стиснення

### Висновки

Існуючі інформаційні методи узгодження продуктивності джерел радіолокаційної інформації з пропускнуною спроможністю каналів передачі даних не забезпечують необхідну повноту і точність забезпечення радіолокаційною інформацією регіонального центру управління повітряним рухом. Причинами цього є фіксований розмір і склад інформаційних елементів в повідомленнях по всіх повітряних об'єктах, а також фіксована дискретність їх видачі. Жорстка структура повідомлення про повітряні об'єкти обумовлює надмірність при передачі даних, що не змінилися. Однакова дискретність видачі радіолокаційної інформації для всіх повітряних об'єктів призводить до надмірності радіолокаційної інформації по мало-швидкісним або неважливим у відношенні повітряним об'єктам і до неточної інформації по високошвидкісним або маневруючим повітряним

об'єктам, а також по повітряним об'єктам, які в даний час мають найбільше значення.

Для вирішення протиріччя між достатньою і реалізованою повнотою і точністю забезпечення радіолокаційною інформацією центрів управління повітряним рухом доцільно використовувати нові принципи формування і видачі повідомлень про повітряні об'єкти, засновані на зміні складу і розміру інформаційних елементів в повідомленнях про повітряні об'єкти, а також дискретності видачі повідомлень по окремим повітряним об'єктам. Реалізація цих принципів можлива в перспективній АСУ центрів управління повітряним рухом, створюваної на основі об'єднання ЛОМ центрів управління повітряним рухом.

### Список літератури

1. Турсунходжаев Х.А. Теория цифровой обработки радиолокационной информации: Учебное пос. / Х.А. Турсунходжаев. – Х.: ВИРТА ПВО, 1989. – 125 с.
2. Словарь по кибернетике: Св. 2000 ст. / Под ред. В.С. Михалевича. 2-е изд. – К.: Гл. ред. УСЭ им. М.Л. Баждана, 1989. – 751 с.
3. Столингс В. Компьютерные системы передачи данных / В. Столингс: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. – 928 с.
4. Кузьмин С.З. Цифровая радиолокация. Введение в теорию / С.З. Кузьмин. – К.: КВЦ, 2000. – 428 с.
5. Лагутенко О.И. Современные модемы / О.И. Лагутенко. – М.: Эко-Трендз, 2002. – 344 с.
6. Столингс В. Современные компьютерные сети / В. Столингс. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
7. Метод формирования признаков информационной модели конфликтных ситуаций для подсистем поддержки принятия решений в перспективных системах управления специального назначения / М.А. Павленко, Г.С. Степанов, М.В. Касьяненко, В.Н. Руденко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Х.: ХНУПС, 2016. – Вип. 3. – С. 101-103.

Надійшла до редколегії 4.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. М.А. Павленко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені І. Кожедуба, Харків.

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

А.С. Могилатенко, Д.Н. Обидин, А.П. Кондратенко, В.Н. Руденко

Необходимость практического решения задачи обеспечения регионального центра воздушного движения радиолокационной информацией с требуемой полнотой и точностью и недостаточная развитость теоретической базы для ее решения, обуславливают актуальность научной задачи разработки метода формирования и выдачи сообщений о воздушных объектах от источников радиолокационной информации на региональный центр управления воздушным движением, адаптивного к изменениям производительности источников радиолокационной информации и пропускной способности каналов передачи данных.

**Ключевые слова:** анализ, обработка, управление, информация.

### THE PROVISION OF RADAR INFORMATION REGIONAL AIR TRAFFIC CONTROL CENTERS

A.S. Mohilatenko, D.N. Obidin, O.P. Kondratenko, V.M. Rudenko

The need for a practical solution to the problem to ensure a regional center of air traffic radar information with the required completeness and accuracy, and insufficient development of the theoretical basis for its decision, cause the actual scientific task of developing a method of forming and issuing reports of aerial objects from radar data sources on a regional air traffic control center, adaptive to changes in the performance of radar data sources and bandwidth data channels.

**Keywords:** analysis, processing, management, information.

С.О. Оберемок

Кіровоградська льотна академія

Національного авіаційного університету, Кропивницький

## МОДЕЛЬ ОБРОБКИ ПАКЕТІВ В КОМУТАЦІЙНИХ ВУЗЛАХ З ПОВНОЗВ'ЯЗНОЮ ТОПОЛОГІЄЮ МЕРЕЖІ АСУ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

В роботі розглянуті принципи побудови системи передачі даних в автоматизованих системах управління повітряним рухом, що створена в Україні та функціонує в рамках міжнародної системи обміну інформацією про повітряний рух. Проведений аналіз дозволив стверджувати, що існуюча система побудована за ієрархічним принципом передачі та обробки інформації. Для передавання інформації використовуються принципи комутації буферизованих пакетів із застосуванням різних стратегій, які можуть впливати на основні характеристики процесу комутації пакетів в мережі АСУ повітряним рухом. В результаті досліджень було встановлено, що для розробки комутаційних засобів в мережах необхідно використовувати буферну пам'ять яка розрахована на максимальне інформаційне навантаження.

**Ключові слова:** комутація, буфер, вхідний порт, вихідний порт, передача даних, буферна пам'ять, мультиплексор, бітова швидкість.

### Вступ

В даний час обмін даними радіолокаційної інформації (РЛІ) в автоматизованих системах управління повітряним рухом (АСУ ПР) ведеться, в основному, по виділених каналах зв'язку.

У той же час в країнах ЄС для цієї мети останнім часом застосовуються ієрархічні мережі з обробкою пакетів в комутаційних вузлах, які, перш за все, дозволяють скоротити експлуатаційні витрати і зробити систему обміну РЛІ легко масштабованою і розширеною.

**Постановка задачі і аналіз відомих публікацій.** Однією з поширених технологій комутації є організація даного процесу у засобах з повнозв'язною топологією. Аналіз видань [1-4, 6] показав що у комутаторах з повнозв'язною топологією між будь-якими портами (вхідними, вихідними) існує єдиний шлях. У мережах передачі даних АСУ повітряним рухом імовірність виникнення довготривалих пікових навантажень дуже значна.

Виходячи з цього актуальним є завдання проведення досліджень можливості комутації пакетів без втрат в найкоротший термін.

**Мета статті.** Моделювання принципів обробки пакетів в комутаційних вузлах з повнозв'язною топологією в мережах АСУ повітряним простором.

### Основна частина

В результаті розвитку мережевої технології з'явилася концепція комутації на вузлах з повнозв'язною топологією. У вузлах мережі розміщують сервери, здатні забезпечити можливість багатом терміналам й ЕОМ спільно використовувати

загальну комутаційну лінію, що має велику пропускну здатність. Сучасні засоби комутації, як правило розраховані на середнє інформаційне навантаження.

У комутаторах з повнозв'язною топологією між будь-яким вхідним і вихідним портом існує єдиний шлях (рис. 1)

Пакети які поступають на вхідні порти передаються на адресні фільтри (АФ) всіх вихідних портів. Якщо вказаний в пакеті адреса збігається з номером вихідного порту, що надійшов пакет поміщається у вихідний буфер (Б), звідки, згодом, відправляється одержувачу через блок мультиплексорів (БМ) [5].

У класичному варіанті число буферів кожного вихідного порту дорівнює кількості вхідних портів. Слід також зазначити, що в загальному випадку граничні швидкості передачі даних через порти можуть бути різні і, як правило, визначаються протоколами обміну.

При цьому однією з вагомих завдань процесу комутації залишається передача буферизованих пакетів у вихідний порт, яка може вирішуватися із застосуванням різних стратегій (наприклад, випадкова вибірка, послідовний опитування, пріоритетне обслуговування та ін.), Що в кінцевому рахунку впливає на основні характеристики процесу комутації пакетів.

У мережах передачі даних АСУ повітряним простором ймовірність виникнення довготривалих пікових навантажень дуже значна. Зважаючи на це актуальною є задача аналізу можливості комутації пакетів без втрат в найкоротші терміни.

Розглянемо процес комутації з  $N$  вхідних портів на один вихідний порт, який схематично представлено на рис. 2.



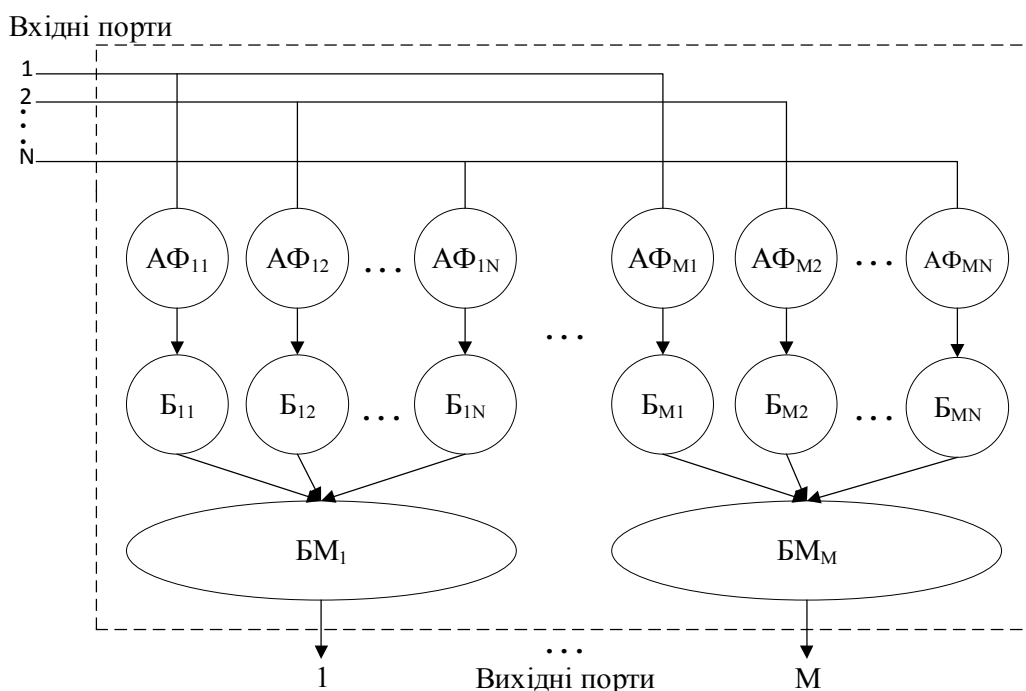


Рис. 1. Узагальнена структура комутатора з повнозв'язною топологією

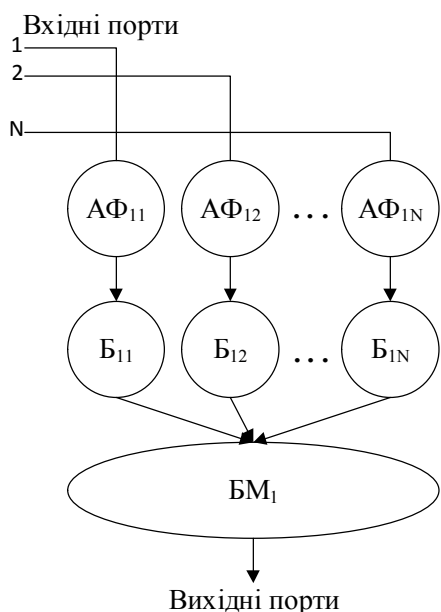


Рис. 2. Схема комутації пакетів з N входних на один вихідний порт

Позначимо через  $V_1^{BX}$  бітові швидкості роботи входних портів; через  $V^{B_{VIX}}$  - бітову швидкість вихідного порту. Прийемо довжини буферів однаковими для кожного з комутуваних шляхів:

$$BUF_1 = BUF_2 = \dots = BUF_N = BUF.$$

У критичних умовах, коли на кожен входний порт комутатора пакети надходять з максимальною інтенсивністю, здатність передавати дані без втрат буде залежати від довжини буферів і бітових швид-

костей входних і вихідних портів. У загальному випадку, час до першої втрати пакета комутатором при однакових бітових швидкостях входних портів може бути приблизно оцінений як:

$$\hat{T}_{\text{пот}} \approx \frac{N \cdot BUF}{N \cdot V^{B_{VIX}} - V^{B_{VIX}}}.$$

Бачимо, що для випадку, коли бітова швидкість вихідного порту перевищує сумарну бітову швидкість всіх входних портів ймовірність втрати пакетів комутатором буде дорівнює нулю. В такому випадку розміри буферів можуть бути мінімальними - лише для здійснення проміжного зберігання даних, що передаються [7-8].

Виходячи з наведеного виразу можна також отримати орієнтований розмір буферів, який забезпечить буферизацію входних пакетів без втрат для заданого часу пікового навантаження.

В процесі моделювання досліджувалися комутатори з наступними характеристиками:

- а) кількість входних портів комутатора  $N = 16$ , бітові швидкості входних портів  $V_{BX} = 10$  Мбіт / с, бітова швидкість вихідного порту  $V_{VIX} = 100$  Мбіт / с (графік залежності 1, рис. 3.);
- б)  $N = 32$ ,  $V_{BX} = 10$  Мбіт / с,  $V_{VIX} = 100$  Мбіт / с (графік залежності 2, рис. 3);
- в)  $N = 8$ ,  $V_{BX} = 10$  Мбіт / с,  $V_{VIX} = 10$  Мбіт / с (графік залежності 3, рис. 3);
- г)  $N = 64$ ,  $V_{BX} = 10$  Мбіт / с,  $V_{VIX} = 10$  Мбіт / с (графік залежності 4, рис. 3);
- д)  $N = 8$ ,  $V_{BX} = 100$  Мбіт / с,  $V_{VIX} = 10$  Мбіт / с (графік залежності 5, рис. 3).

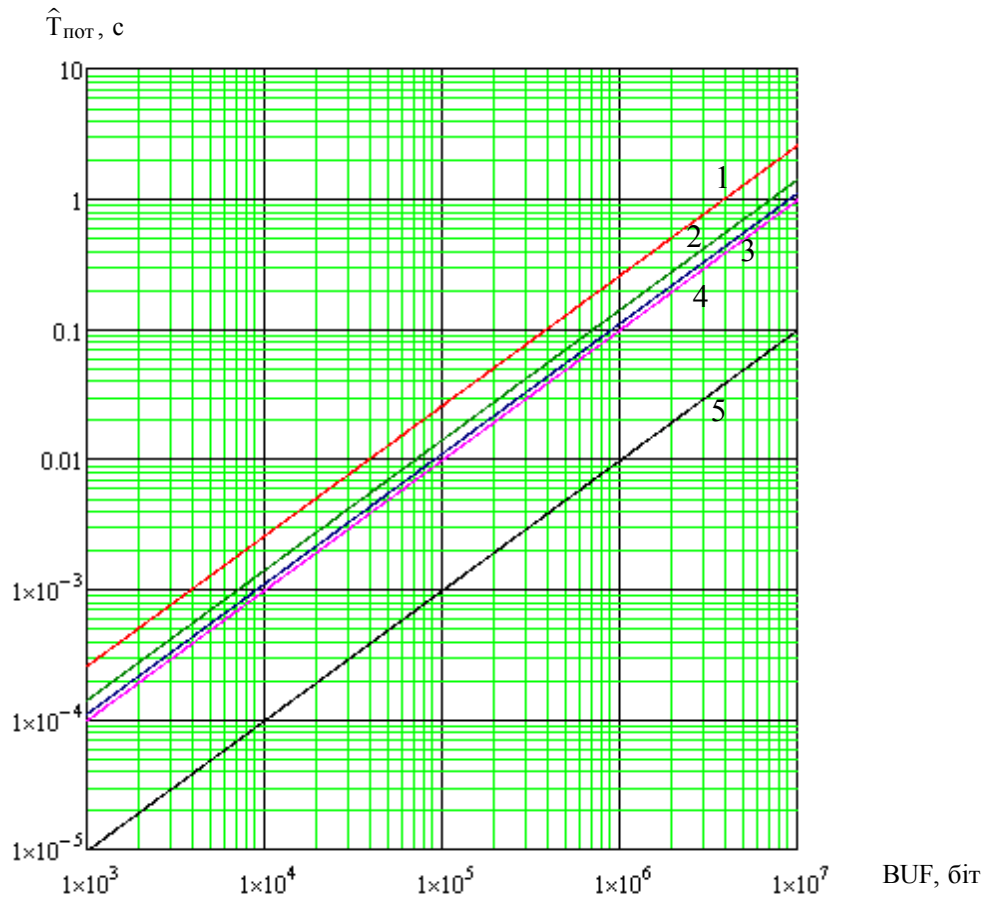


Рис. 3 Залежність оцінки часу втрати пакета комутатором від довжини буферів при однакових бітових швидкостях вхідних портів при комутації пакетів на один вихідний порт:  
 1 –  $V_{вх} = 10$  Мбіт / с,  $V_{вих} = 100$  Мбіт / с;  
 2 –  $N = 32$ ,  $V_{вх} = 10$  Мбіт / с,  $V_{вих} = 100$  Мбіт / с;  
 3 –  $N = 8$ ,  $V_{вх} = 10$  Мбіт / с,  $V_{вих} = 10$  Мбіт / с;  
 4 –  $N = 64$ ,  $V_{вх} = 10$  Мбіт / с,  $V_{вих} = 10$  Мбіт / с;  
 5 –  $N = 8$ ,  $V_{вх} = 100$  Мбіт / с,  $V_{вих} = 10$  Мбіт / с

Попередні оцінки часу до втрати пакетів для різних параметрів наведені в табл. 1.

Закінчення табл. 1

Таблиця 1  
 Розрахункова оцінка часу до втрати пакетів

BUF, Мбит	N	$V^{вх}$ , бит/с	$V^{вих}$ , бит/с	$\hat{T}_{пот}, c$
1	16	10	100	0,267
	32	10	100	0,145
	8	10	10	0,114
	64	10	10	0,102
	8	100	10	0,01
10	16	10	100	2,667
	32	10	100	1,455
	8	10	10	1,143

	64	10	10	1,016
	8	100	10	0,101
100	16	10	100	26,667
	32	10	100	14,545
	8	10	10	11,429
	64	10	10	10,159
	8	100	10	1,013

Виходячи з даних табл. 1 розробимо модель процесу комутації.

В якості вихідних обмежень прийемо наступні:

- комутатор працює в режимі пікового завантаження (максимальна інтенсивність надходження пакетів на всі вхідні порти);

- застосовується стратегія випадкового вибору пакетів з проміжних буферів для мультиплексування на вхідний порт;

- передаються кадри мінімального розміру (найгірше поєднання параметрів трафіку) [9].

Як впливає з отриманих результатів моделювання (рис. 3), при однакових розмірах буферів найбільший час до втрати пакетів забезпечить найменш "завантажений" комутатор.

Причому, більш істотний вплив на час до першої втрати пакетів надають вхідні і вихідні бітові швидкості.

Збільшення кількості вхідних портів збільшує завантаження комутатора і зменшує час до першої втрати пакетів.

## Висновки

В результаті досліджень стало зрозуміло що для розробки комутаційних засобів в мережах автоматизованих системах управління повітряним рухом необхідно використовувати буферну пам'ять яка розрахована на максимальне інформаційне навантаження. Використовувати такий підхід з погляду можливості апаратної реалізації відносно вимог є не ефективним.

Виходячи з цього можна вважати що перспективним напрямком є розробка підходів до управління потоками даних в рамках комутаційного вузла мережі автоматизованої системи управління повітряним рухом, з метою забезпечення високої імовірності доставки даних в умовах пікового завантаження на комунікаційних вузлах.

## МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ ПАКЕТОВ В КОММУТАЦИОННЫХ УЗЛАХ С ПОЛНОСВЯЗНОЙ ТОПОЛОГИЕЙ СЕТИ АСУ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

С.О. Оберемок

*В работе рассмотрены принципы построения системы передачи данных в автоматизированных системах управления воздушным движением, созданная в Украине и функционирует в рамках международной системы обмена информацией о воздушном движении. Проведенный анализ позволил утверждать, что существующая система построена по иерархическому принципу передачи и обработки информации. Для передачи информации используются принципы коммутации буферизуемых пакетов с применением различных стратегий, которые могут влиять на основные характеристики процесса коммутации пакетов в сети АСУ воздушным движением. В результате исследований было установлено, что для разработки коммутационных средств в сетях необходимо использовать буферную память, рассчитанную на максимальное информационную нагрузку.*

**Ключевые слова:** коммутация, буфер, входной порт, выходной порт, передача данных, буферная память, мультиплексор, битовая скорость.

## MODEL OF PROCESSING PACKAGES IN COMUTING HOLES WITH COMPLICATED TOPOLOGY OF ACS NETWORK WITH AIR DRYER

S.O. Oberemok

*The paper considers the principles of the construction of a data transmission system in automated air traffic control systems established in Ukraine and functions within the framework of the international system for the exchange of information on air traffic. The analysis made it possible to assert that the existing system is based on the hierarchical principle of transmission and processing of information. For information transfer, the principles of switching buffered packets using different strategies are used, which may affect the basic characteristics of the packet switching process in ACS network by air traffic. As a result of researches it was established that for the development of switching means in networks it is necessary to use buffer memory which is designed for the maximum information load.*

**Keywords:** switching, buffer, input port, output port, data transfer, buffer memory, multiplexer, bit rate.

## Список літератури

1. Алиев Р. Т. Методы управления трафиком в мультисервисных сетях / Р. Т. Алиев // Информационные технологии и системы. – 2011. – №1. – С. 10-13.

2. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д. Бертсекас, Р. Галлагер / пер. с англ. – М.: Мир, 2009. – 544 с.

3. Дымарский Я. С. Проблемы оптимизации распределения ресурсов в сетях связи / Я. С. Дымарский // Телекоммуникации. – 2010. – № 3. – С. 12-17.

4. Кучерявый Е. А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е. А. Кучерявый. – М.: Наука и Техника, 2014. – 336 с.

5. Пасечников И. И. Геометризация пространств состояния каналов связи и путевых потоков информационных сетей // Радиотехника. – 2003. – №5. – С. 91-95.

6. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации: Учеб. пособие. По ред. Пятк С.Г. и Красов А.И. - СПб.: Политехника, 2010.

7. Lee G. M. A survey of multipath routing for traffic engineering // Proc. of LNCS 3391. Springer-Verlag. - 2015. - Vol. 4. - P. 635-661.

8. Tahilramani K. H., Weiss A., Kanwar S., Kalyanaraman S., Gandhi. A. BANANAS: An evolutionary framework for explicit and multipath routing in the internet // Proc. ACM SIGCOMM Workshop on Future Directions in Network Architecture. Karlsruhe. - 2013. – P. 277-288.

9. EUROCONTROL Standard document for radar data exchange. Part 2a Transmission of monoradar data target reports. SUR.ET1.ST05.2000-STD 02a-01. Edition 1.1,2012.

Надійшла до редколегії 4.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. М.А. Павленко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені І.вана Кожедуба, Харків.

І.І. Обод, О.О.Стрельницький

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ІНТЕГРАЛЬНИЙ ПОКАЗНИК ЯКОСТІ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В МЕРЕЖІ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

У статті обґрунтовано інтегральний показник якості захисту інформації в інформаційній системі яка створена на базі мережі систем спостереження повітряного простору, що дозволяє довести інформаційне забезпечення споживачів до рівня сучасних вимог шляхом інтеграції інформаційних ресурсів її підсистем. Показано, що інтегральним показником якості захисту інформації в зазначеній інформаційній системі може бути ймовірність інформаційного забезпечення яка є складовою ймовірностей виявлення повітряних об'єктів, виміру координат, поєднання інформації системи спостереження при формуванні формуляру повітряного об'єкту та ймовірністю виявлення істинної траєкторії.

**Ключові слова:** інтегральний показник якості, захист інформації, системи спостереження.

### Вступ

**Постановка проблеми й аналіз літератури.** Інформаційна безпека має велике значення для забезпечення життєво важливих інтересів будь-якої держави. Швидке вдосконалення інформатизації, проникнення її в усі сфери важливих інтересів зумовило, крім безперечних переваг, і поява ряду стратегічних задач. Посилюється небезпека несанкціонованого втручання в роботу інформаційних систем. Все це стосується і системи контролю повітряного простору (КПП) основними задачами котрої є аналіз повітряної обстановки й прийняття рішень. Рішення приймає особа на основі аналізу, відповідним чином підготовленої інформації, про стан повітряної обстановки. Правильне рішення може бути прийнято лише тоді, коли є досить повна, точна, достовірна й безперервна інформація про повітряну обстановку в зоні управління [1-4]. У зв'язку з цим, процеси отримання, обробки, зберігання, розподілу, сприйняття інформації та прийняття управлінських рішень в процесі КПП проходить в умовах гострого інформаційного протистояння і небезпечних дестабілізуючих (ненавмисних та навмисних) впливів, тому недооцінка питань їх інформаційної безпеки може привести до непередбачуваних наслідків, величезних матеріальних втрат і людських жертв.

Найбільш серйозними проблемами в області захисту інформації в системі КПП, як показано в [5], є захист інформації від несанкціонованого доступу до неї як в процесі отримання, так і в процесі розповсюдження та від навмисних програмно-технічних впливів на інформацію з метою її руйнування, знищення або спотворення.

Дійсно, інформаційним ресурсом системи КПП є системи спостереження (СС) [6]. Це зобов'язує захист інформації починати з моменту її отримання. Дійсно, як показано в [5] в інформаційних ресурсах

системи КПП на етапі отримання інформації може бути здійснено несанкціоноване використання інформації, що призводить до зниження якості інформаційного забезпечення (ІЗ), а також перекручування інформації яке призводить до жаклих наслідків.

При оцінці систем захисту інформації (СЗІ) ІС фахівці стикаються з низкою труднощів, пов'язаних з проблемами формалізації предметної області та використанням статистичної інформації. Це обумовлено неоднорідністю вибірки статистичної інформації, яка виникає через різноманітність ІТ, програмного забезпечення і технічних засобів, що використовуються при створенні інформаційних систем (ІС). У зв'язку з цим, в більшості випадків, для оцінки СЗІ ІС застосовуються експертні оцінки якісних характеристик з використанням слів професійної мови, що вносить нечіткість в підсумкові дані і є причиною складнощів, що виникають при їх обробці.

**Мета роботи.** Обґрунтування інтегрального показника якості (ІПЯ) захисту інформації в інформаційній мережі СС ПП.

### Основна частина

Вимоги до якості інформації та рівня її захищеності в системі КПП визначаються її призначенням та роллю, яку вона відіграє.

В системі контролю КПП існує багато джерел інформації. До них відносяться радіолокаційні, радіонавігаційні та зв'язкові засоби, електроні та магнітні носії інформації тощо. Всі вони в певній мірі можуть відчувати вплив різного роду дестабілізуючих факторів і вимагають захисту [4].

Робота системи КПП та інформація, що циркулює в них повинні бути всебічно захищені від різного роду дестабілізуючих та шкідливих факторів, до яких відносяться:

- штучні завади та електромагнітна несумісність;

- акти активної протидії функціонуванню системи КПП;
- акти несанкціонованого використання інформації;
- акти перекручування інформації.

Таким чином, порушники технічного захисту інформації можуть створювати такі потенційні загрози для безпеки інформації в ІС:

- загрози конфіденційності (несанкціонованого отримання) інформації всіма можливими і можливими каналами її витоку;
- загрози цілісності (несанкціонованої зміни) інформації;
- загрози доступності інформації (несанкціонованого або випадкового обмеження) і ресурсів самої інформаційної системи.

Для формування ефективної системи захисту інформації в мережі СС, що забезпечує її безпечно функціонування, необхідно використовувати комплексний підхід, що включає ряд етапів, одним з яких є формування системи критеріїв та розробка моделей-оцінки систем захисту інформації системи КПП.

Об'єктом спостереження у системі КПП є повітряний об'єкт (ПО) [6]. Для системи КПП основним видом спостереження є незалежне та некооперативне на основі локальної мережі спостереження в складі первинної СС та системи ідентифікації (СІ) за ознакою «свій-чужий». Дійсно, первинна СС надає дані про місцезнаходження ПО, тобто відповідає на запитання «де», а СІ відповідає на запитання «хто». Наявність вторинної СС дозволяє отримати польотну інформацію (PI) з борту ПО.

Таким чином умова отримання достовірної та цілісної вищезазначеній інформації, особою що приймає рішення, і є показником якості захисту інформації. Дійсно, як показано в [5], найбільшу загрозу для ІС КПП є акт перекручування інформації, тобто виключення можливості достовірності визначення державної приналежності ПО. Ця можливість обумовлена принципом побудови вторинних СС, що дозволяє зацікавленій стороні, шляхом несанкціонованого використання цього інформаційного ресурсу здійснити перекручування інформації.

Ефективний захист інформації полягає не в тому, що боротьба із загрозами здійснюється під час їх прояву, а в тому, щоб ІС були притаманні такі завчасно надані властивості, які би виключали можливість реалізації будь-яких загроз. Тобто по суті це не боротьба з загрозами, а впровадження заходів щодо ліквідації вразливостей ІС, якими могли би скористатися потенційні загрози, наслідками яких можуть бути перекручення чи знищення інформації, несанкціоноване її використання.

При цьому слід зазначити, що історично (при низькій продуктивності ЕОМ та аналоговій обробці

інформації у системах спостереження (СС) ІТ використали починаючи з вторинної обробки даних (ВОД) СС ПП, а первинна обробка даних (ПОД) здійснювалася у СС. Це призводило до складностей у виборі показників якості ІЗ користувачів, тобто є неможливим єдиний параметр для оптимізації характеристик ПОД та ВОД [1]. Реалізація цифрової обробки інформації у СС та підвищення продуктивності ЕОМ дозволили здійснювати обробку даних СС починаючи з виходів фазових детекторів. У цьому разі використання ІТ дозволило підвищити рівень ІЗ, що забезпечило безпеку польотів, підвищення економічності й регулярності польотів цивільної й військової авіації в районі аеродрому, на повітряних трасах та у позатрасовому ПП. ІТ, у цій ситуації, припускають автоматизацію процесів отримання, збору, обробки й відображення інформації від різнорідних СС та здійснюють мережеву обробку даних. Тобто можливо стверджувати, що ІТ дозволили виконувати у СС первинну, вторинну та третинну обробку даних, що суттєвим чином збільшує надійність та якість ІЗ користувачів. ІЗ системи КПП здійснюється СС [1,2], як правило, сумісними, які включають до свого складу первинну та одну чи дві вторинні (запитальні). Це дає можливість сформувати повний формуляр ПО, який видається споживачам інформації.

При цьому слід зазначити, що ведучою є первинна СС, координатна інформація (КІ) ПО котрої і закладається у формуляр ПО. Обчислення КІ ПО вторинними (запитальними) СС потрібно тільки для поєднання даних первинних та запитальних СС, що суттєвим чином зменшує ІЗ користувачів.

Розглянемо структуру ІЗ користувачів на базі первинної та вторинної СС при виконанні первинної та вторинної обробки даних.

Завданням ПОД СС являється формування формуляру ПО, котрий включає:

- поточний вектор стану ПО з відповідною матрицею точності;
- польотну інформацію (PI) за її наявності;
- ознаку «свій-чужий».

Це передбачає, що у кожній СС повинно бути здійснено:

- виявлення та вимірювання параметрів виявлених сигналів;
- виявлення та вимір координат виявлених ПО;
- декодування та обробка ПП вторинною СС;
- поєднання координатної інформації (КІ) та PI у вторинній СС;
- порівняння КІ ПО, отриманих ідентифікаційною і первинною СС, вторинною і первинною СС.

Задачами ВОД являються:

- виявлення траєкторії ПО;

- супровід траєкторій ПО;
- траєкторні розрахунки у інтересах споживачів інформації.

Структура містить виявлювачі сигналів (сигналів відповіді (СВ), з виходу якого знімається послідовність випадкових нулів і одиниць  $x_i$ . Таким чином, виявлення сигналу здійснюється за необхідними показниками якості, тобто  $F_{0i}$ ,  $D_{0i}$ .

Послідовність нулів і одиниць з виходу виявлювачів сигналу проходить часову дискретизацію і поступає далі на входи виявлювачів і вимірювачів координат ПО. Алгоритм виявлення ПО зводиться до перевірки гіпотези  $H_0$  про відсутність ПО проти альтернативної гіпотези  $H_1$  про її наявність, тобто до утворення співвідношення правдоподібності й порівняння цього відношення з якимось наперед заданим числом, яке обирається, виходячи з припустимої ймовірності хибного виявлення. Рішення про виявлення об'єкту з показниками якості  $F_{1i}$  і  $D_{1i}$  надходить на вимірювач координат ПО. Оцінка координат миттєвого положення ПО робиться одночасно з виявленням ПО. Завдання вимірювача координат ПО полягає в тому, щоб на основі аналізу отриманої послідовності нулів і одиниць оцінити оптимальним чином координати ПО. Оптимальний алгоритм вимірювання координат синтезується, як правило, за критерієм максимальної правдоподібності.

Завдання виявлювача ПО полягає в тому, щоб на основі аналізу отриманої послідовності нулів і одиниць вирішити оптимальним чином, чи являє собою прийнята вибірка пачку сигналів або вона відноситься до завади.

Таким чином, при формуванні рішення про виявлення ПО з виходу вимірювача координат ПО видається оцінка вектору вимірювання координат  $\hat{\alpha}_i$ , що характеризується кореляційною матрицею похибок  $\bar{C}_i^{-1}$ , тобто при формуванні сигналу про виявлення ПО з виходу вимірювача координат ПО кожної СС видається оцінка вектору вимірювання координат  $\hat{\alpha}_i$ , що характеризується кореляційною матрицею похибок  $\bar{C}_i^{-1}$ .

Закінчується ПОД формуванням формуляру ПО, котрий включає:

$$\bar{W}_p, \bar{C}_p^{-1}, PI, \text{"свій - чужий"}.$$

При цьому слід зазначити, що поточний вектор стану ПО  $\bar{W}_p$  з відповідною матрицею точності  $\bar{C}_p$  складений на основі виміру координат ПО первинною СС. У результаті проведення ВОД формується результуючий вектор стану  $\bar{W}_r$ , котрий характеризується результуючою матрицею точності  $\bar{C}_r$ , а

також екстрапольований вектор стану  $\bar{W}_e$  з відповідною матрицею точності  $\bar{C}_e$ .

Виконання ТОІ передбачає поєднання інформації від декількох, рознесених на місцевості, СС, що потребує перерахунку координат ПО від різних СС у єдину координатну систему та приведення відміток до єдиного часу екстраполяцією векторів стану до чергового моменту поєднання інформації.

При цьому слід зазначити, що PI та ознака «свій-чужий», отримані на етапі ПОД, автоматично приєднуються до векторів стану та матриці точності, отриманих на етапах ВОД та ТОД.

ПІЯ ІЗ при використанні ІТ може бути ймовірність ІЗ, котра визначається ймовірністю ІЗ кожного з етапів обробки.

Для ПОД частковими показниками якості ІЗ можуть бути ймовірності правильного виявлення ПО кожною СС  $P_i = D_{1i}$ , які є функціями

$$D_{1i} = f(D_{0i}, F_{0i}, C_i, P_0) = f(q_{0i}, z_{0i}, C_i, P_0),$$

де  $z_0(C)$  – аналоговий (цифровий) поріг виявлення сигналу (ПО),  $P_0$  - коефіцієнт готовності відповідача літака, що є характерним для вторинної та ідентифікаційної СС.

При порівнянні та поєднанні даних, що потрібно для автоматичного складання формуляру ПО, критерієм є якість виміру координатної інформації, через ймовірності цих дій до яких належать:

- ймовірність втрат правильної PI;
- ймовірність спотворення PI;
- ймовірність об'єднання KI і PI вторинної СС;
- ймовірність порівняння KI первинної та ідентифікаційної СС;
- ймовірність об'єднання KI і PI у вторинній СС.

Коротко розглянемо названі ймовірності.

При обробці PI схемою за критерієм  $k/m$  є ймовірність втрат правильної PI у пристрої обробки

$$P_{vtr} = 1 - P_{PI}^k,$$

де  $P_{PI}$  - ймовірність видачі PI з виходу запитальної СС у перших  $m$  інформаційних відповідях.

При вживанні у пристрої обробки схем підтвердження PI за критерієм  $k/m$  ймовірність спотворення польотної інформації складе:

$$P_{isk.PI} = \sum_{i=k}^m C_m^i P_{isk}^i (1 - P_{isk})^{m-i},$$

де  $P_{isk}$  – ймовірність видачі запитальною СС хибної PI.

PI запитальних СС може поступати з деяким запізнюванням відносно KI, т.з. номер дискрети приходу PI.

$$N_d' = N_d + T(KI) / \tau_d,$$

де  $N_d$  - номер дискрети приходу координатної інформації;  $T(KI)$  - запізнювання для запитальної СС, відповідне коду  $KI$ ;  $r_d$  - ціна дискрети дальності.

Практично ймовірність об'єднання координатної і польотної інформації складе:

$$P_{окр} = (1 - P_{vtr.p.i})(1 - P_{ick.PI})P \left\{ \begin{matrix} +N'_o \\ -N'_o \end{matrix} \right\},$$

де  $P \left\{ \begin{matrix} +N'_o \\ -N'_o \end{matrix} \right\}$  - умовна ймовірність приходу ПІ у

стробі від  $+N'_o$  до  $-N'_o$  відносно КІ ПО.

Алгоритм об'єднання інформації в пристрої обробки побудований так, що одиночні відмітки СС об'єднуються, якщо азимутний кут між центрами пакетів не перевищує  $\Delta\beta$ , а різниця їх дальностей  $\Delta r$ .

За умови, що відхилення центрів пакетів в первинній і вторинній СС незалежні і підкоряються нормальному розподілу, ймовірність об'єднання пакетів можна визначити з такого співвідношення

$$P_{рое} = 0,25 \times \left[ 1 + \Phi \left( \frac{\Delta\beta}{\sqrt{2} \sqrt{\sigma_{\beta 1}^2 + \sigma_{\beta 2}^2}} \right) \right] \left[ 1 + \Phi \left( \frac{\Delta r}{\sqrt{2} \sqrt{\sigma_{r 1}^2 + \sigma_{r 2}^2}} \right) \right],$$

де  $\sigma_{\beta}$  ( $\sigma_r$ ) - середньоквадратичні відхилення азимутів (дальностей) центрів пакетів первинної та вторинної СС.

Ефективність алгоритмів виявлення траєкторії ПО характеризується ймовірністю виявлення істинної траєкторії  $D_{tr}$ , котра у загальному сенсі є складовою ймовірності виявлення ПО первинною СС,

що є у свою чергу є складовою ймовірності виявлення сигналів цією ж СС. Все це дозволяє визначити показник якості ІЗ на етапі ВОД у вигляді

$$P_{inf} = D_{tr} D_{12} D_{13} P_{окр} P_{рое1} P_{рое2}.$$

## Висновки

Запропонований ПІЯ ІЗ споживачів дозволяє сумістити критерії ефективності обробки даних СС та захисту інформації в СС повітряного простору.

## Список літератури

1. Автоматизированные системы управления воздушным движением: Новые информационные технологии в авиации / под ред. С.Г. Пятко и А.И. Краснова. - СПб.: Политехника, 2004. - 446 с.
2. Захист інформації в системі організації повітряного руху / Биковцев І.С., Дем'янюк В.С., та інші. - К.: ДнОПР України, - 2007. - 196 с.
3. Клименко В.О. Концептуальні положення інформаційної безпеки автоматизованих систем організації повітряного руху / В.О.Клименко // Захист інформації: Збірник наукових праць. - К.: НАУ, 2007. № 3. □ С. 55-64.
4. Технические средства и методы защиты информации: Учебник для вузов / Зайцев А.П., Шелупанов А.А., Мецераков Р.В. и др.; под ред. А.П. Зайцева и А.А. Шелупанова. - М.: Машиностроение, 2009 - 508 с.
5. Стрельницький О.О. Протиріччя та проблема захисту інформації в мережі систем спостереження повітряного простору / О.О.Стрельницький//Системи управління, навігації та зв'язку. □ Полтава: □ 2017. □ Вип. 3(43). □ С. 66-68.
6. Обод І.І. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору / І.І.Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич. - Х.: ХНУРЕ, 2015. □ 270 с.

Надійшла до редколегії 23.11.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

## ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАЧЕСТВА ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В СЕТИ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА

И.И. Обод, А.А. Стрельницкий

*В статье обоснована интегральный показатель качества защиты информации в информационной системе созданная на базе сети систем наблюдения воздушного пространства, что позволяет довести информационное обеспечение потребителей до уровня современных требований путем интеграции информационных ресурсов ее подсистем. Показано, что интегральным показателем качества защиты информации в указанной информационной системе может быть вероятность информационного обеспечения которая является составной вероятностей обнаружения воздушных объектов, измерения координат, объединения информации системы наблюдения при формировании формуляра воздушного объекта и вероятностью обнаружения истинной траектории.*

**Ключевые слова:** интегральный показатель качества, защита информации, системы наблюдения.

## INTEGRATED INDEX OF THE QUALITY OF INFORMATION PROTECTION IN THE NETWORK OF OBSERVING AIR SYSTEMS

I.I. Obod, A.A. Strelnickiy

*The article substantiates the integral indicator of the quality of information protection in the information system created on the basis of the network of airspace surveillance systems, which allows to bring the information support of consumers to the level of modern requirements by integrating the information resources of its subsystems. It is shown that the information protection quality in the information system can be an integral indicator of the probability of information support, which is the composite probability of detecting air objects, measuring coordinates, combining the information of the observation system in the formation of the airspace form and the probability of finding the true trajectory.*

**Keywords:** integrated quality indicator, information security, surveillance systems.

М.А. Павленко, С.М. Балакірева, О.В. Петров

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## РОЗРОБКА КРИТЕРІЮ ВИБОРУ ДОСТОВІРНИХ ЗНАЧЕНЬ УЗАГАЛЬНЕНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ

*В статті розглянута базова процедура виведення узагальнених характеристик повітряних об'єктів. Пропонується застосування правил достовірного виведення значень до базової процедури, що дозволяє побудувати нову систему вихідних продукцій. На основі розроблених правил достовірного виведення та перевірки коректності інтегральних узагальнених характеристик повітряних об'єктів запропоновано метод виведення значень узагальнених характеристик повітряних об'єктів, особливістю якого є поетапна сумісна обробка поточних та апріорних даних і знань про повітряні об'єкти.*

**Ключові слова:** повітряний об'єкт, достовірні значення, правила виведення.

### Вступ

Аналіз сутності та особливостей виконання завдання виведення узагальнених характеристик повітряних об'єктів показує [1, 2], що з їх допомогою формуються значення узагальнених характеристик повітряних об'єктів. Наявність похибок, неповноти і неоднорідності в поточних даних, що надходять від різних джерел.

На основі базової процедури виведення узагальнених характеристик повітряних об'єктів, моделю процесу отримання названих характеристик на основі знань про нього, виявлено причини труднощів її реалізації в реальному масштабі часу.

До цих причин були віднесені асинхронність функціонування окремих джерел поточних даних і складність і багатоетапність обліку невизначеності, неповноти та неоднорідності поточних даних названих джерел.

Одним із шляхів усунення зазначених причин може бути вибір з окремо виведених часткових узагальнених характеристик повітряних об'єктів найбільш достовірних.

Однак для виведення найбільш достовірних значень узагальнених характеристик повітряних об'єктів при наявності узагальнених характеристик повітряних об'єктів, сформованих окремо за даними різних джерел інформації, необхідний вибір. Реалізувати такий вибір можна за допомогою спеціального правила, що дозволяє виводити значення узагаль-

нених характеристик повітряних об'єктів, що володіють найбільшою довірою до них, тобто достовірного виведення узагальнених характеристик повітряних об'єктів.

### Основна частина

Під вірними значеннями узагальнених характеристик повітряного об'єкту будемо розуміти такі значення, які найбільшою мірою відповідають реально існуючим.

Достовірність значень узагальнених характеристик повітряного об'єкту тісно пов'язана з введеними лінгвістичними мірами достовірності поточних даних, що надходять від різних джерел інформації на вхід підсистеми інформаційного забезпечення рішень, а значить, залежить від ступеня їх неоднорідності, неповноти і невизначеності. Тому в якості показника достовірності виведення узагальнених характеристик повітряного об'єкту слід прийняти нечітку міру довіри їх значенням, що отримується шляхом перерахунку лінгвістичних мір достовірності поточних даних при їх обробці спільно зі знаннями про повітряний об'єкт.

Виходячи зі сказаного можна вважати, що достовірними будуть ті значення узагальнених характеристик повітряних об'єктів, виведення яких проводиться за максимальним значенням їх нечітких мір довіри.

Це виведення можна представити у вигляді такого правила-продукції:

$$ДВ : (i \in [1, 3]) : \left( \exists_i (W_{op} = \max \{W_{opi}\}) \Rightarrow (\omega_{pj} | W_{op} = \omega_{pji} | W_{op}) \right),$$

де  $p$  – номер часткової узагальненої характеристики  $j$ -го повітряного об'єкту, при цьому,  $p \in [1, 5]$ ;

$W_{op}$  – міра довіри узагальненої характеристики повітряного об'єкту  $op$ ;

$\omega_{pj}$  – інтегральна узагальнена характеристика  $j$ -го повітряного об'єкту.

Відповідно до наведеного співвідношенням І-АБО граф процедури достовірного виведення узагальненої характеристики повітряного об'єкту в випадках, коли для виведення значень цих характеристик використовуються повідомлення від двох або більше типів різних джерел інформації про по-



вітряний об'єкт, що володіють різними значеннями лінгвістичних мір достовірності входних даних, може бути представлений графом, наведеними на рис. 1.

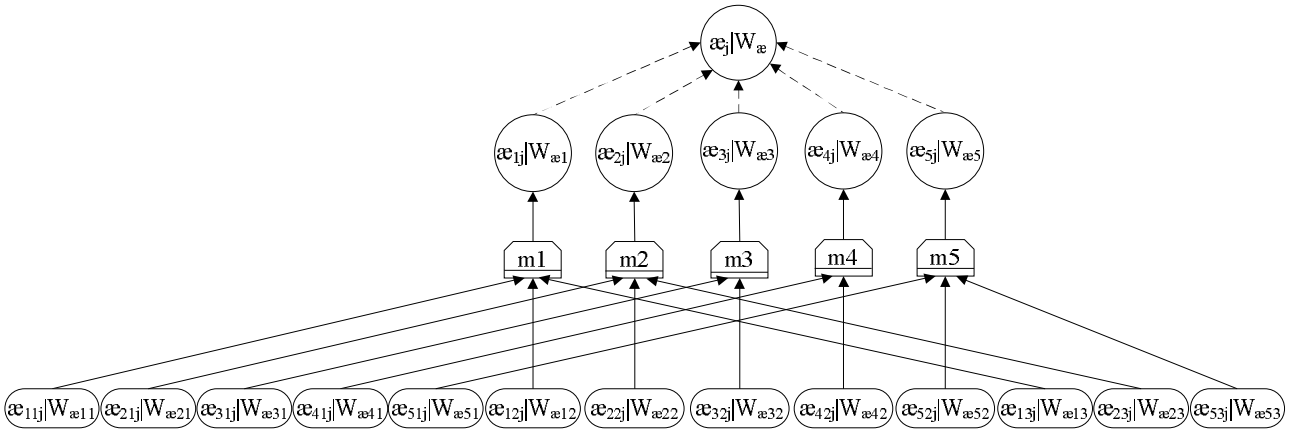


Рис. 1. I-АБО граф процедури достовірності виведення узагальнених характеристик повітряних об'єктів

Правила виведення найбільш вірних значень для кожної узагальненої характеристики j-го повітряного об'єкту відповідно до їх нечітких мір довіри по суті представляють собою правила достовірного виведення, що можна представити відношеннями:

$$\begin{aligned} \text{ДВ1: } (i \in [1, 3]) : ((W_{\omega 11j} = \max\{W_{\omega 11}, W_{\omega 12}, W_{\omega 13}\}) \\ \Rightarrow (\omega_{1j} = \omega_{11j}), \text{інакше}(W_{\omega 12j} = \max\{W_{\omega 11}, W_{\omega 12}, W_{\omega 13}\}) \\ \Rightarrow (\omega_{1j} = \omega_{12j}), \text{інакше}(\omega_{1j} = \omega_{13j})); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ДВ2: } (i \in [1, 3]) : ((W_{\omega 21j} = \max\{W_{\omega 21}, W_{\omega 22}, W_{\omega 23}\}) \\ \Rightarrow (\omega_{2j} = \omega_{21j}), \text{інакше}(W_{\omega 22j} = \max\{W_{\omega 21}, W_{\omega 22}, W_{\omega 23}\}) \\ \Rightarrow (\omega_{2j} = \omega_{22j}), \text{інакше}(\omega_{2j} = \omega_{23j})); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ДВ3: } (i \in [1, 3]) : ((W_{\omega 31j} = \max\{W_{\omega 31}, W_{\omega 32}\}) \\ \Rightarrow (\omega_{3j} = \omega_{31j}), \text{інакше}(\omega_{3j} = \omega_{32j})); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ДВ4: } (i \in [1, 3]) : ((W_{\omega 41j} = \max\{W_{\omega 41}, W_{\omega 42}\}) \\ \Rightarrow (\omega_{4j} = \omega_{41j}), \text{інакше}(\omega_{4j} = \omega_{42j})); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ДВ5: } (i \in [1, 3]) : ((W_{\omega 51j} = \max\{W_{\omega 51}, W_{\omega 52}, W_{\omega 53}\}) \\ \Rightarrow (\omega_{5j} = \omega_{51j}), \text{інакше}(W_{\omega 52j} = \max\{W_{\omega 51}, W_{\omega 52}, W_{\omega 53}\}) \\ \Rightarrow (\omega_{5j} = \omega_{52j}), \text{інакше}(\omega_{5j} = \omega_{53j})). \end{aligned}$$

Отримані правила достовірного виведення спільно з правилами роздільного виведення значень узагальнених характеристик повітряного об'єкту можуть бути об'єднані в єдину процедуру виведення узагальнених характеристик повітряного об'єкту за даними поточних повідомлень, що надходять від різних джерел, на основі знань про повітряні об'єкти.

Ця процедура, наведена на рис. 2, може бути реалізована в кілька етапів.

**Еман 1:** Приведення поточних повідомлень різнотипних і асинхронно функціонуючих джерел до єдиної системи координат і часу.

**Еман 2:** Оцінка наявності та істинності відношень між даними поточних повідомлень і апіорними даними окремо для кожного типу джерел інформації.

**Еман 3:** Роздільне виведення узагальнених характеристик повітряного об'єкту за фактами оцінки істинності (або хибності) відношень між поточними даними різних джерел інформації і апіорними даними про повітряні об'єкти з визначенням значень нечітких мір довіри цим відношенням з відомих лінгвістичним мірам достовірності поточних даних.

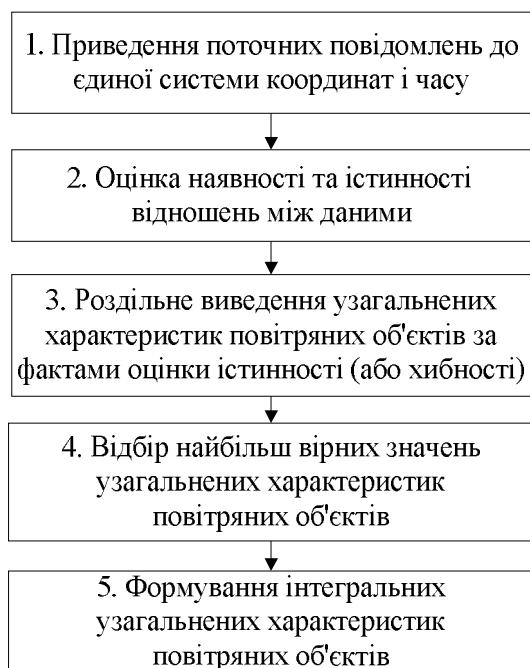


Рис. 2. Процедура виведення узагальнених характеристик повітряного об'єкту

**Еман 4:** Відбір найбільш вірних значень узагальнених характеристик повітряного об'єкту за максимальним значенням нечітких мір довіри цим характеристикам, отриманим шляхом перерахунку нечітких мір довіри відношенням, розрахованим на попередньому етапі.

**Еман 5:** Формування інтегральних узагальнених характеристик повітряного об'єкту з найбільш достовірних значень їх часткових узагальнених характеристик.

Достовірний вивід значень здійснюється для кожної часткової узагальненої характеристики повітряного об'єкту за максимальним значенням нечітких мір довіри окремо виведених узагальнених характеристик повітряного об'єкту. При цьому повинні використовуватися ДВ1, ..., ДВ5.

Результатом такого виводу повинна бути сукупність часткових узагальнених характеристик, яка може бути представлена у вигляді такої множини:

$$\omega_j | W_\omega = \omega_j | \{ W_{\omega i} \} = \{ \omega_{1j} | W_{\omega 1}, \omega_{2j} | W_{\omega 2}, \omega_{3j} | W_{\omega 3}, \omega_{4j} | W_{\omega 4}, \omega_{5j} | W_{\omega 5} \},$$

в якому значення складових визначаються відповідно до вираження продукції ДВ.

Подання інтегральних узагальнених характеристик повітряних об'єктів, отриманих в результаті застосування наведеної системи продукцій, можуть відрізнятися від їх реальних представлень в зв'язку з наявністю в поточних даних, що надходять від джерел інформації, неоднорідності, неточностей і неповноти.

Тому виникає необхідність в доповненні описаної процедури достовірного виведення операцією перевірки коректності інтегральних узагальнених характеристик повітряних об'єктів їх реальним характеристикам.

Відомо [3, 4], що причинами некоректності виведених знань, крім того, можуть бути помилки формалізації вихідних даних і знань, недостатнє врахування їх особливостей і особливостей застосовуваних формальних систем, а також недостатнє врахування початкових умов для реалізації виведення. Усунути ці причини повністю не завжди представляється можливим.

Однак виявити їх і в достатній мірі компенсувати можна різними методами на різних етапах експлуатації систем штучного інтелекту.

До цих методів віднесемо:

на етапі придбання та поповнення знань - вибір відповідного апарату формалізації;

на етапі формування бази знань - метод її тестування, тобто складання набору вихідних даних і початкових умов, що забезпечують заздалегідь відомий результат;

на етапі побудови програмних засобів - вивід знань шляхом використання спеціальних методик, що базуються на особливостях використовуваних моделей і методів представлення знань і формальних систем;

на етапі практичного застосування систем штучного інтелекту, коли склад їх баз знань визначено, - побудова еталонів відношень (тимчасових, просторових, каузальних) між виведеними і об'єктивно існуючими знаннями.

Вивчення умов практичного використання підсистеми інформаційного забезпечення рішень показує:

по-перше, в ній база знань повинна бути визначена заздалегідь,

по-друге, виведення знань про характеристики повітряних об'єктів проводиться в рамках вузького аспекту і одного рівня знань,

по-третє, знання про характеристики повітряних об'єктів накопичуються і формуються в процесі експлуатації підсистеми інформаційного забезпечення рішень.

Все це дозволяє зробити висновок про те, що для оцінки коректності формованих описів інтегральних узагальнених характеристик повітряних об'єктів можна використовувати еталонні описи цих характеристик, або еталони комбінацій часткових узагальнених характеристик. Для перевірки коректності виведених знань про повітряні об'єкти були використані зразки тимчасових просторових і каузальних відношень.

У разі оцінки коректності інтегральних узагальнених характеристик повітряних об'єктів необ-

хідно ввести в розгляд еталони структурних (поелементних) відношень між виведеними інтегральними узагальненими характеристиками повітряних об'єктів і можливими варіантами об'єктивно (реально) існуючих комбінацій часткових узагальнених характеристик.

З огляду на ту обставину, що інтегральна узагальнена характеристика повітряних об'єктів є сукупністю часткових узагальнених характеристик цих об'єктів, то для побудови правила оцінки коректності інтегральних узагальнених характеристик необхідно скласти перелік варіантів реально можливих комбінацій часткових узагальнених характеристик повітряних об'єктів на основі вивчення технічних можливостей повітряних об'єктів.

З урахуванням вище викладеного правило оцінки коректності інтегральної узагальненої характеристики  $j$ -го повітряного об'єкту може бути сформульоване таким чином: якщо виведена сукупність значень часткових узагальнених характеристик  $j$ -го об'єкту  $\omega_{pj}$  співпадає поелементно хоч би з одним з еталонів інтегральних узагальнених характеристик  $\omega_{pm}^k$ , то сформована інтегральна характеристика  $j$ -го об'єкту  $\omega_j$  є коректною, або реально можливою, другу позначимо як  $\omega_j^R$ .

У аналітичному вигляді це правило можна записати таким чином:

$$KB: (m \in [1, 60]) : (\exists m (\omega_{pj} = \omega_{pm}^k) \Rightarrow (\omega_j = \omega_j^R)),$$

$$(\rho \in [1, 5], j \in [1, S])$$

Отримане правило дозволяє зробити остаточний висновок про зміст і реальність інтегральних узагальнених характеристик повітряних об'єктів, які сформовані підсистемою інформаційного забезпечення рішень.

#### РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЯ ВЫБОРА ДОСТОВЕРНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОБОБЩЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУШНЫХ ОБЪЕКТОВ

М.А. Павленко, С.М. Балакірева, А.В. Петров

*В статье рассмотрена базовая процедура вывода обобщенных характеристик воздушных объектов. Предлагается применение правил достоверного вывода значений к базовой процедуре, что позволяет построить новую систему выходных продукций. На основе разработанных правил достоверного вывода и проверки корректности интегральных обобщенных характеристик воздушных объектов предложен метод вывода значений обобщенных характеристик воздушных объектов противника, особенностью которого является поэтапная совместная обработка текущих и априорных данных и знаний о воздушном объекте.*

**Ключевые слова:** воздушный объект, достоверные значения, правила вывода.

#### DEVELOPMENT OF CRITERION OF CHOICE OF RELIABLE VALUES GENERALIZED DESCRIPTIONS OF AIR OBJECTS

M.A. Pavlenko, S.M. Balakireva, A.V. Petrov

*Base procedure of leading out of the generalized descriptions of air objects is considered in the article. Application of rules of reliable leading out of values is offered to base procedure, that allows to build the new system of weekend of production. On the basis of the worked out rules of reliable leading out and verification of correctness of the integral generalized descriptions of air objects the method of leading out of values of the generalized descriptions of air objects of opponent the feature of that is the stage-by-stage compatible processing of and a priori current data and knowledge about air objects.*

**Keywords:** air object, reliable values, rules of leading out.

## Висновки

Запропоновано застосування правил достовірного виведення значень до базової процедури, що дозволяє побудувати нову систему вихідних продукцій. На основі розроблених правил запропоновано метод виведення значень узагальнених характеристик повітряних об'єктів. Рішення завдання виведення узагальнених характеристик повітряних об'єктів за максимальним значенням мір довіри цим узагальнених характеристик повітряних об'єктів передбачає розробку спеціальних правил достовірного виведення, в результаті якого менш достовірні значення узагальнених характеристик повітряних об'єктів відкидаються. Це дозволяє підвищити достовірність результатів виведення.

## Список літератури

1. Зайцев Д.В., Наконечний А.П., Пахарев С.О., Луценко І.О.; за ред. В. Б. Добровольського. *Військова розвідка: навчальний посібник / упорядники* : – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2016. – 335 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.mil.univ.kiev.ua/files/224\\_1596505657.pdf](http://www.mil.univ.kiev.ua/files/224_1596505657.pdf)
2. Глебов Ю.В., Королюк Н.О., Павленко М.А., Тимочко О.І., Оніщенко П.М., Петров О.В., Духлаво Д.Е., Корольов Р.В. *Об'єкти управління автоматизованих систем управління Повітряних Сил: навчальний посібник*. – Х.: ХУПС, 2015. – 256 с.
3. Ярушек В.Е., Прохоров В.П., Судаков Б.Н., Мишин А.В. *Теоретические основы автоматизации процессов выработки решений в системах управления*. – Харьков: ХВУ, 1993. – 446 с.
4. Бондарев В.Н., Аде Ф.Г. *Искусственный интеллект: Учебное пособие для вузов*. – Севастополь: СевНТУ, 2002. – 615 с.

Надійшла до редколегії 18.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

V.D. Karlov, O.V. Lukashuk, O.V. Besova

*Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv*

## TO QUESTION OF DEVELOPMENT OF RADIO ELECTRONIC FIGHT IN THE ARMED CONFLICTS OF CONTEMPORANEITY

*The analysis of progress of radio electronic fight, newest control the system by troops (by forces) and weapon of leading countries of the world trends is conducted in the article. The basic stages of development of radio electronic fight are resulted, what characteristic for Military Powers of all of the world states, including Ukraine.*

**Keywords:** *informative safety, radio electronic fight, priv, hertzian wave, electromagnetic compatibility.*

### Introduction

One of major lines of сьогодення there is active transformation of all of spheres of conduct of the armed fight. Soldierly specialists [1] much attention spare the questions of conquest of advantage on earth, pestilence, air and space, but at the same time forget about another space – electromagnetic, without domination in which it is impossible to attain advantage in a management troops (by forces) and weapon in war of the future.

Leading position in providing of advantage in a management troops (by forces) and weapon a radio-electronic fight (REF) [2, 3] which presently occupies in modern operations (battle actions), as never, needs native alteration of ideology of conduct, careful, scientifically grounded revision of ramshackle conceptions and stereotypes taking into account world progress of this specific type of the armed fight trends.

Therefore purpose of this article – to analyse world progress of radio electronic fight trends and form the basic stages and its progress trends.

### Basic part

Beginning from the first steps and for a present tense, a radio electronic fight in a world theory and practice of the armed fight passed the way of both evolutionary and revolutionary changes in the development. The stages of development of radio electronic fight are characteristic for military powers of all of the states and they can be traced, coming from such high-quality index, as a role of EW in the system of the armed fight, thus, examining this index in two aspects – to military and technical.

On the basis of such approach in development of radio electronic fight it is possible to select three basic stages [1, 4].

The first stage engulfs a period from Second world war to beginning of war in Vietnam. Him basic lines is:

– from the point of view of technical point of view, it is the use of facilities of obstacles against communication and radio-location means with the purpose of to complicate their application;

– from the military point of view, as a rule, it is a tactical reception with the limited scales of application at times and in space.

Basic maintenance of this stage of development of radio electronic fight in world practice was expansion of arsenal of facilities of REF and improvement of them тактико-технічних descriptions.

The second stage engulfs a period from 1964 to 1991 year. A radio electronic fight becomes one of basic types of the operative (battle) providing.

Main achievement of the stage is high-quality transformation as a military aspect – transformation of radio electronic fight in the independent type of the operative (battle) providing with expansion to strategic, operative, tactical scales, so technical is creation of the automated complexes and systems of REF.

The third stage was begun with 1991 year and lasts for a present tense and already brought a number of revolutionary transformations to industry of REF. Specify basic from them [1, 2].

1. First in practice of the armed fight within the limits of operation „Storm in the desert” (on January, 17 – on March, 1 1991p.) was conducted operation of REF [5].

It was directed on disorganization of state and military administration of opponent, small for the purpose of achievement of complete advantage in a management troops (by forces) and weapon, as one of basic components of the armed fight on the modern stage. Application of airplanes of REF was carried out

from the areas of баражування, located out of air space of Iraq and reach of his facilities of air defense, and also directly from the battle-orders of striking forces. Pays attention on itself circumstance that the producers of obstacles were used it is massed, making to 50% facilities of air attack in the echelon of подавлення of air defense. First for the decision of tasks disorganization of management of opponent an electromagnetic weapon (4...8 winged-rockets are with electromagnetic war-heads) is applied, the concept of „weapon of REF of functional defeat appeared”.

2. During battle actions in the area of the Persian bay by military powers of the USA first in world practice for implementation of tasks of REF (defeat radars systems of air defense of Iraq) the shock helicopters of AN-64 „Apache” are applied. In May, 2004 this approach is successfully approved in air space of German federal republic within the framework of leadthrough of studies of VPS of German federal republic of „Elite – 2004” (took part also subsections of VPS of Great Britain, Greece, Spain, Netherlands, Norway, Slovenia, USA, Turkey, France, Austria, Switzerland and Sweden ). The feature of studies of „Elite-2004” was become by the first application of shock helicopters of land-forces of German federal republic for implementation of tasks of REF.

3. Operation „Interallied force” (on March, 24 – on June, 10 1999p.) gave a shove intensive development of not only reconnaissance and shock unmanned aerial vehicles (UAV) but also UAV of radio electronic fight. Electromagnetic bombs are actively inculcated in practice of REF. First researches of their influence on an armament and military technique, a personnel is conducted during an operation „Storm in the desert”. Action „electronic” or „electromagnetic” bombs look like striking the action of electromagnetic impulse of nuclear explosion. An electromagnetic impulse is created by them incapacitates the electronic systems and complexes, computers, radio engineering systems of secret service and connection, control the system, and also electronic components of all of types of weapon.

A radio electronic impulse is able to get to the underground bunkers and incapacitate stationary communication and management networks. Unlike traditional facilities of radio electronic подавлення, which is on the armament of armies of entire leading countries of the world, a new electronic weapon is able to strike the eliminated electronic systems.

4. During the leadthrough of operation „Shock and trembling” (on March, 20 – on April, 14 2003p.) a radio electronic fight was planned and conducted as the special operation for disorganizations of management troops (by forces) and weapon of Iraq. on March, 26, 2003 by military powers of the USA experimental electromagnetic bombs were applied in Iraq. As a re-

sult were put out of action satellite television centre in Baghdad and radar system of air defense of Iraq.

The detailed military-scientific analysis of local wars and armed conflicts after Second world war allowed to formulate next basic progress of maintenance, forms, methods and facilities of radio electronic fight trends in wars of sixth, seventh generations.

**1 tendency.** The role of REF in achievement of purpose of the armed fight grows constantly. It is related to that the role of REF is straight proportional rigging of military powers by radio electronic facilities, and the basic source of development and transformation of REF is constantly existent contradiction between perfection of control the system by troops (by forces) and weapon of all of levels and possibility of forces and facilities of REF in relation to the decision of the tasks fixed on them [4].

**2 tendencies.** A radio electronic fight appears not so much as a type of the operative (battle) providing, how a specific form of battle actions. These actions is gaining the end of advantage in efficiency of management troops (by forces) and weapon. The model example of awareness of this progress of REF trend in the world is active work of defensive departments of the USA, Russia and China in relation to creation and perfection of separate sort of troops – troops of REF. Unfortunately, in Military Powers of Ukraine this question does not even come into a question, opposite, parts and subsections of REF are actively abbreviated.

REF also grows into the constituent of informative fight which is conducted in specific electromagnetic space and has for a purpose achievement of domination in this space. Transformation of REF is carried out in the independent form of operational-strategic actions – transition from single (separate) radio electronic influences, that was characteristically for the first stage of development of REF, to the massed electronic attacks and operation of REF. Develop and inculcated in practice of battle actions the new combined forms and methods of conduct of REF and fire defeat: radio-fire blow, radio electronic - striking blow, operation of REF. Forces and facilities of REF are engaged in the decision of tasks of operative and operational-strategic levels.

**3 tendencies.** The relative amount of forces and facilities of REF is increased in operations. Yes, in Arab-Israeli war of 1973 relative weight of forces of REF was 4%, in an operation „Storm in the desert” already 9%, and in the echelon of подавлення of air defense in the first massed aviation blow it was involved to 50% airplanes of REF. Thus the general amount of forces of REF in military powers of leading countries of the world remains stable at the level of approximately 2%. [3, 4].

**4 tendencies.** Distribution of scales of radio electronic fight, gradual distribution of REF on space, applica-

tion of the space systems for organization and conduct of REF on earth, in mid air, at the seaside and in space which grounds to characterize the actions of REF as global.

**5 tendency.** Increase of role of REF at implementation of tasks soldiery formings of tactical link. This tendency swims out from experience of application of soldiery contingents of different countries of the world,

in thereby Ukraine, during international peacemaking operations. It is related to the necessity of fight against the radio guided weapon, application of which against peacemaking contingents purchased the massed character. In particular, for the decision of such tasks the small technique of REF (fig. 1), which is built on a modularity, is actively used.

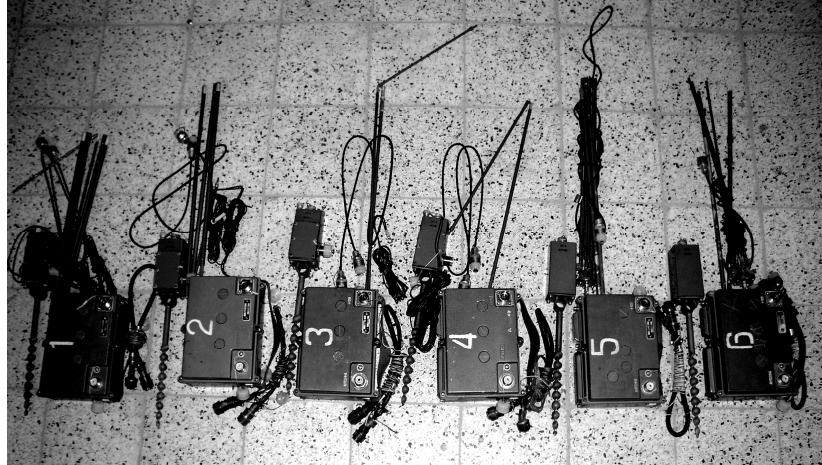


Fig. 1. Small technique of radio electronic fight

**6 tendency.** Integration of forces and facilities of REF is with facilities of secret service and fire defeat at combined radio-fire inflictions blows (prime example to it is war in the area of the Persian bay in 1991) [5]. The degree of automation of processes of secret service and радіоподавлення rises sharply, the methods of artificial intelligence are used the components of complexes of REF are utilized in control the system, system of radio electronic secret service by the complexes of REF in quality informative. The USA has creation and permanent modernization the example of such approach to ACE by forces and fa-

cilities of secret service and REF «ACAC», computer-integrated system of secret service and REF «WULFPAK».

**7 tendency.** Passing ahead development of facilities of REF is marked taking into account the prognoses of development of military radio electronics, but not only reacting, on development of radio electronic facilities of opponent.

Battle possibilities of forces and facilities of REF rise due to expansion of range of workings frequencies, подавлення, and powers of подавлення is conducted in which (fig. 2).

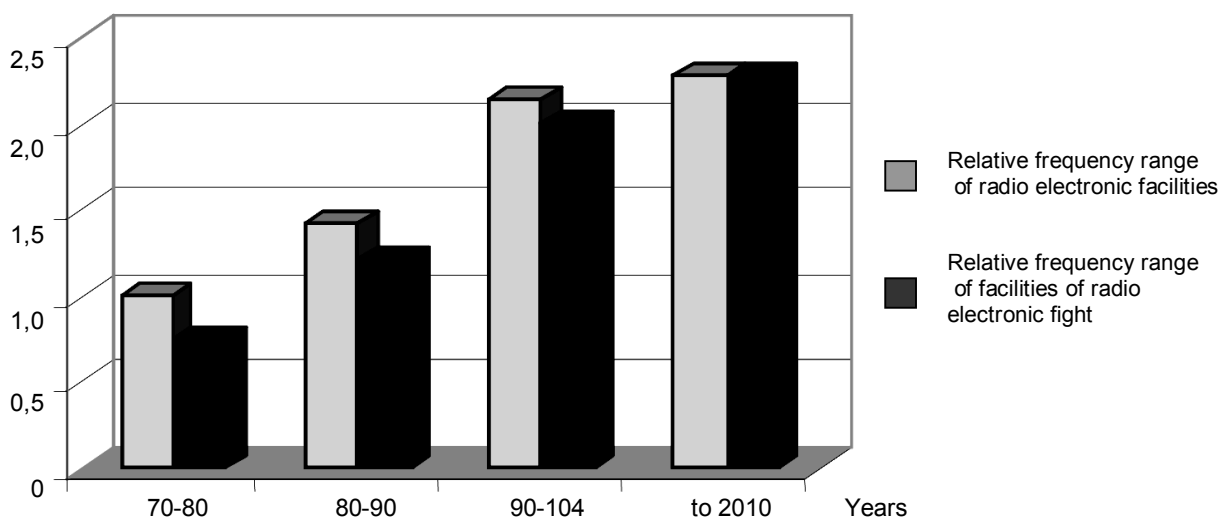


Fig. 2. Growth of ceiling of frequency range facilities of radio electronic fight

The complexes of REF are developed with a high degree adaptations, capable automatically real-time to

estimate a radio electronic situation and carry out the choice of optimum influence on radio electronic facilities.

**8 tendency.** Large attention is spared безпілотним aircrafts as facilities of radio electronic fight. Lately large interest of soldiery appears to small, including miniature безпілотних aircrafts-transmitters of obstacles for application in operatively tactical and tactical links.

**9 tendency.** Active development was purchased by the methods of introduction of destructive programmatic facilities (programmatic computer weapon of REF) on a radio channel for the decision of tasks management disorganization by influence on the newest telecommunication systems of opponent. Thus, a programmatic computer weapon after the properties can look closely as an analogue of high-fidelity weapon (HFW) in informative space. A new constituent is formed RAP is programmatic computer suppression;

**10 tendency.** An increase of role of facilities of REF is in a fight against the HFW of opponent. Facilities of REF can be utilized for creation of obstacles both the heads of aiming of winged-rockets and systems of space navigation as GPS. It is impossible to consider that facilities of REF in full will decide the question of complete derangement of implementation of tasks a high-fidelity weapon, but on the modern stage of development they become substantial addition of fire weapons of defeat [5].

## Conclusion

Thus, the analysis of progress of REF, newest control the system by troops (by forces) and weapon of leading countries of the world trends specifies on the necessity of revision of the traditional going near the conduct of REF in the armed fight of contemporaneity and future. Therefore for Military Powers of Ukraine sharply the problem of leading to of the state and level of development of REF appears to the requirements of wars of the future taking into account the necessity of asymmetric and passing ahead character of development of technique of REF in the world.

Basic directions of decision of this problem in Military Powers of Ukraine is:

creation at state level of terms is for development of scientific base and development of complexes and facilities of REF;

stimulation of development of domestic scientific potential and proper industrial base is in industry of development of the newest standards of weapon of REF and protecting from the analogical weapon of control the system all of levels;

conditioning is for development and production in Ukraine of безпілотних aircrafts with the apparatus of REF;

conditioning is for development of theory of conduct of REF in the operations (battle actions) of the future (in a that number peacemaking and counterterrorist).

## References

1. Радзиевский В.Г. Современная радиоэлектронная борьба. Вопросы методологии / В.Г. Радзиевский. – М.: Радиотехника, 2006. – 424 с.
2. Karlov V.D. Essence and types of informative weapon in modern informative conflicts / V.D. Karlov, O.V. Lukashuk, S.M. Sholokhov // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – X.: ХУПС, 2016. – Вип. 2(47). – С. 42-44.
3. Лукашук О.В. До питання про суть та види інформаційної зброї в сучасних інформаційних конфліктах / В.Д. Карлов, О.В. Лукашук, С.М. Шолохов // Системи обробки інформації. – X.: ХУПС, 2016. – Вип. 8(145). – С. 111-114.
4. Толкачев А.А. Некоторые тенденции развития радиолокационных и связных систем / А.А. Толкачев, Е.Н. Егоров, А.В. Шишлов // Радиотехника, – 2006. – № 4. – С. 5-11.
5. Палий А.И. Очерки истории радиоэлектронной борьбы / А.И. Палий. – М.: Вузовская книга. – 2006. – 284 с.

Надійшла до редколегії 11.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## К ВОПРОСУ РАЗВИТИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ БОРЬБЫ В ОРУЖЕННЫХ КОНФЛИКТАХ СОВРЕМЕННОСТИ

В.Д. Карлов, Е.В. Лукашук, О.В. Бесова

*В статье проанализированы тенденции развития радиоэлектронной борьбы, современных систем управления войсками (силами) и оружием ведущих стран мира. Приведены основные этапы развития радиоэлектронной борьбы, которые характерны для Вооруженных Сил мировых стран, в том числе и Украины.*

**Ключевые слова:** информационная безопасность, радиоэлектронная борьба, защита информации, электромагнитная волна, электромагнитная совместимость/

## ДО ПИТАННЯ РОЗВИТКУ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ БОРОТЬБИ В ЗБРОЙНИХ КОНФЛІКТАХ СУЧАСНОСТІ

В.Д. Карлов, О.В. Лукашук, О.В. Бесова

*У статті проаналізовано тенденції розвитку радіоелектронної боротьби, сучасних систем управління військами (силами) та зброєю провідних країн світу. Наведено основні етапи розвитку радіоелектронної боротьби, які характерні для Збройних Сил світових країн, у тому числі і України.*

**Ключові слова:** інформаційна безпека, радіоелектронна боротьба, захист інформації, електромагнітна хвиля, електромагнітна сумісність/

В.В. Вишнівський, А.П. Бондарчук, Ю.І. Катков, С.О. Серих

Державний університет телекомунікацій, Київ

## ОЦІНКА ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЇ РЕОРГАНІЗАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

В статті розглядається сутність процесу реорганізації складної організаційно-технічної системи та питання оцінки адміністративного управління під час виконання задач на всіх етапах циклу управління установою. Розглядаються аспекти організованості складної організаційно-технічної системи. Пропонуються моделі управління функціонально-структурною реорганізацією системи. Визначаються критерії організованості під час процесу реорганізації. Обґрунтовується в якості міри організованості складної організаційно-технічної системи – ентропія. Надаються математичні моделі організованості.

**Ключові слова:** організаційно-технічна система, критична система, управління, виклики, загрози, реорганізація, керуваність, ентропія.

### Вступ

В теорії управління складними системами актуальним залишається завдання підвищення ефективності управлінської діяльності складної організаційно-технічної системи (СОТС). В статті під СОТС представлено інформаційну систему. При дослідженні функціонування СОТС встановлено [1], що в системі завжди є критичний елемент, вплив на який з боку виклику або загрози може призвести до критичного стану всієї системи. Така система має назву – *організаційна система з критичною інфраструктурою* (ОСКІ). Прикладом являється інформаційний вплив через засоби масової інформації на свідомість населення, наприклад, про девальвацію валюти. Чутки можуть призвести до паніки населення і як наслідок воно почне скупати ліквідні товари або іншу валюту і ці дії можуть призвести до обвалу ринку. Для попередження такого кризового стану необхідно виконувати в постійно діючій установі (організації) деякі процеси адаптації до нових та змінних умов, які мають назву реорганізація.

Зазначимо, що реорганізація – це процес поступового перетворення, перебудови, зміни структури і функції установи (організації), злиття, поділ, виділення, перетворення, удосконалення організаційних відношень в постійно діючих структурах цих установ. Це пристосування до умов функціонування, які змінюються одночасно зі змінами в організаційній системі. В [2] раціонально зазначено, що реорганізація є формою системно-процесорного підходу обґрунтування практичної діяльності органів управління з метою попередження критичних ситуацій.

**Постановка завдання.** Як форма управлінської діяльності, реорганізація здійснюється під час адміністративного управління на різних етапах циклу управління, а саме під час: визначення цілей, планування, організації, активізації, контролювання, координації, регулювання [3]. При цьому в тради-

ційній схемі управління виділяють адміністративний орган (адміністратор, менеджер) і виконавчі органи (сили і засоби). Ця схема передбачає наступний алгоритм роботи: вищий орган управління формує адміністратору завдання  $A$  на основі загальної мети. Адміністратор відносно цього завдання  $A$  визначає сукупність задач  $A_1, A_2, \dots, A_k$ , які необхідні для виконання завдання  $A$ , і здійснює їх розподіл між виконавчими елементами з урахуванням їх спроможні одночасно виконувати ці задачі в сукупності із вже існуючими. Безумовно, що результат виконання залежить від дії адміністратора, які треба оцінити. Тому для цього необхідна відповідна модель процесу управління та визначення показників оцінки. Тому виникає питання оцінки адміністративного управління під час реорганізації для виконання задач на етапах циклу управління установою.

**Аналіз останніх публікацій.** Проблемі синтезу моделей управління та оцінки управлінської діяльності присвячена велика кількість наукових та науково-практичних робіт. В [4-6] розкриті уявлення про сутність управління, пропонуються варіанти різноманітних моделей управління, що мають загальний класичний зміст. В сучасних роботах [7-13] під час оцінки ефективності моделей управління враховуються різні аспекти сутності управління: раціональна діяльність, цілеспрямований вплив, упорядкування, регулювання, оптимізація, а також [9-11] типи управлінської діяльності (евристична, адміністративна, операторна). Проведений аналіз сучасних наукових робіт вказує як на велику складність формалізації самого процесу управління так і розв'язання завдань управління в СОТС. Тому вирішення завдань формалізації процесів реорганізації для ОСКІ, як виду СОТС – це новий, більш складний тип завдань, який обумовлений обмеженням в часі їх рішення. Він потребує сучасних підходів для синтезу і аналізу інформаційних систем. Тому дане завдання є актуальним та своєчасним.



## Основна частина

Для вирішення завдань формалізації процесів управління під час реорганізації ОСКІ необхідно розглянути особливості такої управлінської діяльності. Доцільно вважати, що адміністратор для виконання завдання реорганізації, повинен мати *модель процесу управління під час реорганізації*.

Першим кроком у створенні такої моделі є визначення різних уявлень про сутність управління під час реорганізації, що мають вплив на адекватність моделі реорганізації. Умовно можна визначити такі аспекти сутності управління під час реорганізації: раціональну або доцільну діяльність, цілеспрямований вплив, упорядкування, регулювання, оптимізацію, які за змістом можна розглядати аналогічно запропонованим в [7-9]. Тобто раціональна діяльність управління під час реорганізації має більш широкий зміст [7]. Якщо увага спрямована до цілеспрямованого впливу, зміст управління під час реорганізації полягає у аналізі окремих дій, які розглядаються, як правило, без урахування того, що попереджує діям або їх наслідкам [12]. Під упорядкуванням [13] розуміється установа у відношеннях елементів системи заданого порядку (правил). Під регулюванням розглядаються механізми регулюючих впливів, які для соціо, фізичних, технічних та інформаційних систем поділяються на природні і штучні. При цьому, якщо природні регулятори контролюють реакції системи відносно існуючих об'єктивних умов, то штучні регулятори мають достатній ступінь суб'єктивізму, як зазначено в [4], а під оптимізацією управління визначають критерії та обмеження [14].

Дослідження показують, що адекватність моделей управління під час реорганізації залежить, по-перше, від чіткого визначення виду та етапу управлінської діяльності в загальному процесі управління, а, по-друге, від сутності управління під час реорганізації, що приймається за основу.

При проведенні дослідження загальний процес управління під час реорганізації доцільно розглядати в якості процесу адміністративної діяльності та вважати, що це виконується на етапах організації, активації і координації дії виконавчих елементів, тобто до моменту контролю їх функціонування. Це пов'язано з тим, що реорганізація обумовлена змінами функцій і структури адаптивної частини ОСКІ [15]. Такий період циклу управління визначається як *функціонально-структурна реорганізація системи*.

Головним, в цьому випадку, являється створення моделі управління функціонально-структурної реорганізації системи і визначення критерію організованості під час реорганізації. Природно, що загальним критерієм всього процесу управління стає якість управління, яка є досить суб'єктивною. Додатково необхідно визначити: які властивості управління характеризують його якість під час функціонально-структурної реорганізації системи для вико-

нання завдань. Для цього необхідно розглянути основні умови досягнення загальної мети. Відомо, що загальний процес управління оцінюється різноманітними показниками: безперервність, прихованість, оперативність, стійкість. Але ці показники та побудовані моделі для їх оцінки не відображають особливості одночасно інформаційних відношень і матеріальних стосунків елементів системи під час вирішення завдань управління. Це обґрунтовується наступними положеннями [13].

1. Якщо критерій є засобом оцінки напрямку приведення керованої системи до необхідного стану, то для процесу управління головне це керованість СОТС. А керованість (для СОТС: англ. Controllability/Manageability) – це властивість системи управління та об'єкта управління, яке описує можливість перевести систему з одного статичного стану в інший. Керованість може розглядатися відносно будь-якого показника управління, наприклад, стійкості, прихованості, оперативності та ін. Така невизначеність або багатокритеріальність значно ускладнює формалізацію і розв'язування самої задачі управління.

2. Якщо якість управління залежить від організованості відношень між елементами системи під час вирішення завдань, то її відсутність в умовах впливу на критичний елемент може призвести до того, що система буде некерованою [14], а це не зовсім так. СОТС може набувати стан частково керованої, слабо керованої і т. і.

3. Якщо вважати, що досягнення необхідного стану обмежене часом, то якість управління залежить від оперативності вирішення завдань, а її відсутність в умовах впливу на критичний елемент може призвести до того, що система буде некерована, а це не зовсім так.

4. Якщо рівень стійкості - нижня межа ефективності функціонування системи під час певного рівня організованості системи для досягнення заданої мети, то ресурси системи спочатку розподіляються для досягнення потрібної стійкості в системі, а потім на підвищення ефективності їх застосування, тобто керованість залежить тільки від ресурсів.

Розглянуте вказує на те, що оцінка функціонально-структурної реорганізації системи для виконання завдань вимагає застосування іншої моделі, яка відображає ієрархію властивостей адміністративного управління та їх показників. Тому необхідно дослідити її сутність і визначити місце застосування такої моделі. Вважатимемо, що в СОТС для досягнення будь-якої мети існує наступний причинно-наслідковий ланцюг: потреба користувача – вимога до системи (мета) – функція системи або її елементів – структура відношень між елементами – накопичення і розподіл ресурсів (потреба – вимога або мета – функція – структура – ресурси). Введення такого ланцюга надає можливість урахувати інформаційні відношення, матеріальні стосунки елементів системи і відобразити їх місце в моделі.

Тоді досягнення необхідної керованості на основі будь-якого показника системи стає загальною моделлю процесу адміністративного управління. Вона відображає можливість приведення керованої системи в заданий стан за допомогою керованого впливу. Математичні аспекти керованості та спостереження для лінійної стаціонарної системи розглянути на основі теорії Р.Є. Калмана [16]. Для динамічних систем це вимагає вирішення питання оцінки організованості. Для розгляду моделі організованості динамічних систем звернемо увагу на частину ланцюга “функція – структура – ресурси”, де проявляється функціонально-структурна реорганізація. Вона впливає на розподіл задач, що необхідно вирішити для досягнення певного завдання при наявності певних ресурсів сил і засобів системи.

Можна показати, що властивості “оперативність” і “стійкість” являються допоміжними для досягнення спочатку певної організованості, а потім керованості. Природно, що оперативність характеризує здатність своєчасного досягнення певної цілі в заданому факторному просторі. Врахувавши, що стійкість акцентує увагу з точки зору якості управління об'єктом, пропонується введення синергетичного, більш широкого змісту стійкості, як здатності будь-якої системи в процесі розвитку зберігати цілісність і самоорганізацію цієї системи, забезпечувати її розвиток без криз, прагнення до самозбереження, посилення на яке можна знайти в бібліографії [12].

Згідно з метою даної статті розглянемо більш конкретно процес організації. Поняття *організація* визначає процес створення внутрішньої упорядкованості, погодженості (порядку) і взаємодії елементів (сил і засобів) системи, які спільно реалізують програму або мету, і взаємодіють на основі визначених правил або процедур [4]. Це свідчить про те, що таке поняття припускає досягнення мети, моделлю якої є керованість, яка в свою чергу повинна базуватися на наявності деякого рівня організованості. Тобто властивість організованість повинна фіксувати динамічні закономірності функціонування, поведінки і взаємодії елементів в структурі системи. На основі цього сформуємо зміст поняття організованість.

Під поняттям “організованість” СОТС пропонується розуміти здатність певної (визначеної) структури системи бути готовою до виконання заданої функції з потрібною якістю в заданому факторному просторі. Організованість СОТС проявляється в наступних аспектах.

По-перше, організованість характеризує внутрішню упорядкованість, що полягає в узгодженості сил і засобів функціонально самостійних (самоврядних) підсистем з визначеною структурою відносно досягнення заданої системної мети на основі визначених правил або процедур їх взаємовідношень. Цей аспект суттєвий на етапі створення СОТС та її еволюційного удосконалення під час її реорганізації, тобто у випадку, коли СОТС розглядається в якості ОСКІ.

По-друге, організованість СОТС проявляється в результатах виконання поточних завдань, які формулюються для СОТС вищим органом управління. Для вищого органу управління суттєвим показником організованості СОТС є ймовірність виконання поставлених завдань. Організованість СОТС вважається тим більшою, чим ближче ймовірність наближається до 1 (важлива також вартість виконання завдань, але ця характеристика СОТС та її врахування в цій публікації не розглядається).

Наступним кроком є визначення кількісної оцінки організованості СОТС. Для цього, з точки зору керівника всієї системи управління під час реорганізації, необхідно враховувати типovu “технологію” виконання завдань. Вона полягає в тому, що організаційна ланка управління розподіляє отримане завдання  $A$  на сукупність узгоджених між собою завдань  $A_1, \dots, A_k$ , які необхідні для виконання завдання  $A$ , кожна з яких виконується елементами виконавчої ланки системи. Кожне завдання  $A_1, A_2, \dots, A_k$  може бути виконане з певною ймовірністю. Ймовірність виконання завдання  $P_A$  пов'язана з ймовірністю виконання окремих завдань  $P_{A_i}$ , де  $i \in 1, \dots, k$  відображає номер завдання в рамках визначеної кількості  $k$ . У загальному випадку  $P_{A_i}$  є умовною величиною, оскільки можливості виконання різних завдань пов'язані між собою. Найпростіший випадок відповідає незалежності умов виконання різних завдань, коли

$$P_A = \prod_{i=1}^k P_{A_i} \quad (1)$$

Варіанти розподілу завдань між виконавцями складають основу для прийняття рішення на виконання завдання системою управління. Згідно з цим рішенням визначається розподіл ресурсів сил і засобів. Доцільність рішення визначається величиною ймовірності  $P_A$ , яка досягається внаслідок його прийняття. Невизначеність виконання завдання  $N_A$  визначається відхиленням ймовірності  $P_A$  від 1:  $N_A \rightarrow \Delta P_A = 1 - P_A$ . Невизначеність  $N_A$  тим більша, чим менша величина  $P_A$ . Враховуючи це, пропонується за оцінку невизначеності приймати величину, зворотну ймовірності. Оскільки значення  $P_A$  повинно бути близьким до 1, для забезпечення лінійного зв'язку між  $\Delta P_A$  і невизначеністю виконання завдання  $N_A$  пропонується використовувати логарифмічний масштаб для зворотної величини  $P_A$ :

$$N_A = \log_a \frac{1}{P_A} = -\log_a P_A \cong \Delta P_A$$

Аналогічна оцінка поширюється на невизначеність виконання окремих завдань:

$$N_{A_i} = \log_a \frac{1}{P_{A_i}} = -\log_a P_{A_i} \cong \Delta P_{A_i} \quad (2)$$

Якщо ймовірність виконання завдання встановиться на рівні 0,5 (поставлене завдання буде виконано або невиконано з однаковою ймовірністю), то величину невизначеності виконання завдання доцільно прийняти рівною 1. Відповідно основу логарифмування

рифмів доцільно прийняти  $a=2$ , так що згідно з (1) і (2) невизначеність виконання завдання:

$$N_A = -\sum_{i=1}^k \log_2 P_{Ai} \quad (3)$$

У випадку, коли  $P_{2i} \rightarrow 1$ , співвідношенню (3) може бути придана форма:

$$N_A \approx -\sum_{i=1}^k P_{Ai} \cdot \log_2 P_{Ai} \quad (4)$$

Співвідношення (4) по формі співпадає з співвідношенням для ентропії повідомлень, сформованих з елементів алфавіту, кількість яких становить  $k$ , а ймовірність вибірки  $P_{Ai}$  [17]. Аналогічно, при умові  $P_{Ai} \rightarrow 1$  праву частину співвідношення (4) можна називати ентропією вирішення завдання і вважати що невизначеність виконання завдання дорівнює ентропії вирішення завдань.

### Висновок

Відображено оцінку невизначеності – ентропію або кількість різноманітності. Н. Вінер визначив дуальність ентропія-інформація: «Як кількість інформації в системі є оцінкою організованості системи, точно так ентропія є оцінкою дезорганізованості системи; одне рівняється іншому, взятому з протилежним знаком». Тому такий підхід може використовуватися для оцінки функціонально-структурної реорганізації системи відносно виконання завдань для досягнення певної мети функціонування ОСКІ, як виду СОТС.

### Список літератури

1. Катков Ю.І. Роль і місце інформаційної інфраструктури під час виникнення явища критичності організаційної системи / Ю.І. Катков, В.В. Вишнівський, С.О. Серих // Зв'язок – 2017. – № 5/ – С 57-65.
2. Даник Ю.Г. Національна безпека: запобігання критичним ситуаціям: моногр. / Ю.Г. Даник, Ю.І. Катков, М.Ф. Пічугін. – Житомир : Рута, 2006. – 386 с.

3. Большой энциклопедический словарь: В 2-х т. / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. Энцикл., 1991. – 457 с.
4. Надежность и эффективность в технике: Справочник: в 10 т. / Ред. совет: В.С.Авдеевский (пред.) и др. – М.:Машиностроение, 1988. Т. 3. – 328 с.
5. Саати Т.Л. Принятие решений: метод анализа иерархий / Т.Л. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
6. Месарович М. Основания общей теории систем / М. Месарович. – М.: Мир, 1966. – 345 с.
7. Сетров М.И. Основы функциональной теории организации / М.И. Сетров. –Л.: Наука, 1972. – 320 с.
8. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понтрягин и др. – М.: Физматгиз, 1961. – 225 с.
9. Гуторова О.О. Административный менеджмент: навч. посібник / О.О. Гуторова, О.М. Стасенко. – Харків: ХНАУ, 2014. – 383 с.
10. Новіков Б.В. Основы административного менеджмента / Б.В.Новіков, Г.Ф. Сініок, П.В. Круш. – Київ : Центр навч. л-ри, 2004. – 560 с.
11. Райченко А.В. Административный менеджмент : учебник / А.В. Райченко. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 416 с.
12. Пригожин И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 188 с.
13. Попов Г.Х. Проблемы теории управления / Г.Х. Попов. – М.: Экономика, 1974. – 320 с.
14. Ляпунов А.А. Проблемы теоретической и прикладной кибернетики / А.А. Ляпунов. – М.: Наука, 1980. – 336 с.
15. Катков Ю.І. Оцінка процесів реорганізації системи з критичною інфраструктурою/ Ю.І. Катков, В.В. Вишнівський, С.О. Серих // Зв'язок – 2017. – № 6. – С. 57-65.
16. Кальман Р.Э. Об общей теории систем управления // Тр. 1 конгр. ИФАК, т.2, АН СССР, 1961. – 245 с.
17. Шеннон К. Работа по теории информатики и кибернетики. - М., Из-во иностр. лит., 1963г.- 832с.

Надійшла до редколегії 16.01.2018

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.К. Жердев, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ.

### ОЦЕНКА ПРОЦЕССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЙ РЕОРГАНИЗАЦИИ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В.В. Вишневский, А.П. Бондарчук, Ю.И. Катков, С.А. Серых

Рассматривается сущность процесса реорганизации сложной организационно-технической системы и вопросы оценки административного управления при выполнении задач на всех этапах цикла управления учреждением. Рассматриваются аспекты организованности сложной организационно-технической системы. Предлагаются модели управления функционально-структурной реорганизацией системы. Определяются критерии организованности в процессе реорганизации. Обосновывается в качестве мерила организованности сложной организационно-технической системы - энтропия (количество разнообразия решения задач). Предоставляются математические модели организованности.

**Ключевые слова:** организационно-техническая система, критическая система, управление, вызовы, угрозы, реорганизация, управляемость, энтропия.

### THE ESTIMATION PROCESS OF REORGANIZATION OF STRUCTURE AND FUNCTIONS OF THE ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SYSTEM

V.V. Vyshnivskiy, A.P. Bondarchuk, Yu.I. Katkov, S.O. Serikh

This paper deals with controllability properties complex organizational - technical system. The evaluation of administrative management in the performance of tasks at all stages of the management cycle is considered. The aspects of organization of a complex organizational - technical system are considered. Models of management models for functional and structural reorganization of the system are given. The criteria of organization in the process of reorganization are determined. The entropy (the amount of diversity in the solution of problems) is justified as a measure of the organization of a complex organizational - technical system. Mathematical models the amount of diversity in the solution of problems is provided.

**Keywords:** organizational and technical system, critical system, management, challenges, threats, reorganization, controllability, entropy.

Н.В. Єрмілова<sup>1</sup>, Є.В. Гаврилко<sup>2</sup>, С.Г. Кислиця<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

<sup>2</sup> Державний університет телекомунікацій, Київ

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОВОРОТНОЇ ПЛАТФОРМИ ОДНОКІВШЕВИХ ЕКСКАВАТОРІВ

У статті розглянуто сучасний стан і напрямки розвитку електроприводу механізму повороту одноківшевих екскаваторів. Розроблені комп'ютерні моделі систем автоматичного керування для двох випадків: без урахування та з урахуванням пружних властивостей об'єкту. Проведене моделювання системи дало змогу проаналізувати динамічні властивості електроприводу екскаватора разом з його механічною частиною та отримати висновки про шляхи досягнення найкращої динаміки системи.

**Ключові слова:** електропривод екскаватора, поворотна платформа, пружність системи, комп'ютерна модель, автоматичне керування.

### Вступ

В роботі розглядається електропривод одноківшевого кар'єрного екскаватора, якій широко застосовується на відкритих гірничих розробках з видобутку корисних копалин. Механізм повороту такого екскаватора повинен забезпечувати пряме (розвантаження) і поворотне обертання платформи. З метою зниження витрат часу на поворотні рухи, які складають значну частину тривалості робочого циклу, використовують режими прискореного розгону і гальмування.

До електроприводу механізму повороту додатковою вимогою є забезпечення плавності протікання перехідних процесів при відпрацюванні заданого кута повороту й мінімально можливий час повороту з обмеженим прискоренням. Це викликано тим, що механізм повороту має значний приведений момент інерції, який в декілька разів перевищує момент інерції двигуна. Крім того, внаслідок великого передаточного числа в передачі наявні значні люфти й зазори [1].

Привод повороту є найскладнішою частиною з огляду на вимоги до електроприводу екскаватора і дуже складним з точки зору реалізації цих вимог. Це пов'язано з тим, що електроустаткування екскаватора працює в важких умовах трясіння, ударів, вібрацій, великої запорошеності, в інтенсивних пуско-гальмівних режимах з великою частотою вмикань та змінному навантаженні [2]. Механічна частина приводу повороту має достатньо довгі вали, що створюють пружні зв'язки та значні люфти, які з часом лише зростають [3]. Дослідження цих явищ внаслідок складності електромеханічних процесів зі значними коливаннями є достатньо проблемним і без комп'ютерної техніки практично неможливим.

**Мета роботи** – створення комп'ютерних моделей системи автоматичного керування (САК) електроприводу поворотної платформи з урахуванням і

без урахування її пружності та аналіз на основі цих моделей динамічних властивостей системи електроприводу поворотної платформи одноківшевого екскаватора з метою визначення шляхів досягнення найкращої динаміки досліджуваної системи.

### Результати дослідження

В процесі роботи був розроблений електропривод поворотної платформи одноківшевого екскаватора по системі «Тиристорний перетворювач – двигун постійного струму» на базі двох двигунів потужністю по 100 кВт, які з'єднані між собою валом. Кожен двигун живиться від власного тиристорного перетворювача. Система керування складається з чотирьох контурів: напруги, струму якоря, швидкості, положення. Крім того, в схемі керування реалізований зворотний зв'язок за пружним моментом, який заведений на регулятор струму. На регулятори струму обох систем подаються сигнали з пристроєм вирівнювання навантажень.

На вході контуру регулювання швидкості встановлений задатчик інтенсивності, що буде забезпечувати обмеження ривку. Ця система повинна відповідати сучасним вимогам, поставленим до електроприводу поворотної платформи одноківшевого екскаватора, для чого й було потрібно провести дослідження її параметрів.

Для рішення цієї задачі було розроблено структурні схеми контурів регулювання напруги, струму, швидкості та положення. Розраховані основні параметри схем. Також розроблено та розраховано структурні схеми задавачів інтенсивності першого та другого роду. На базі структурних схем розроблені комп'ютерні моделі контурів та загальна модель САК. Динаміка електромеханічної системи була досліджена для двох випадків: без урахування пружних властивостей (рис. 1) та з урахуванням пружності об'єкту (розгалужена тримасова електромеханічна система).

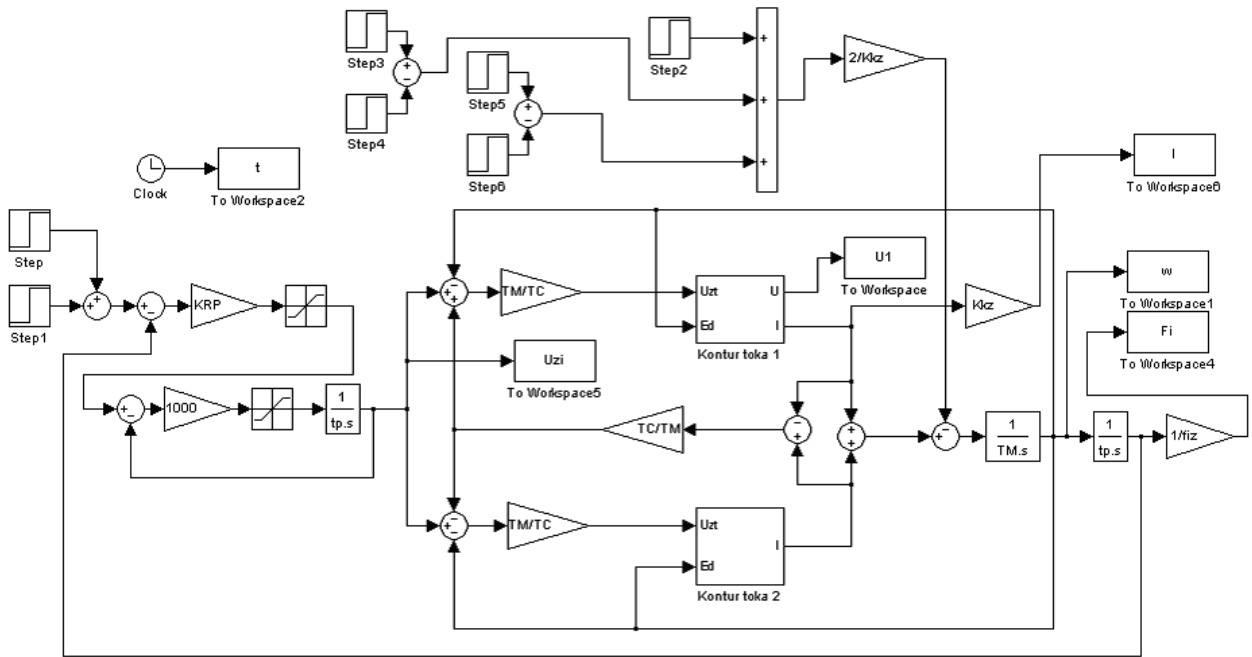


Рис. 1. Модель САК електропривода поворотної платформи екскаватора без урахування пружності

Для рішення поставленої задачі було використано додаток MATLAB Simulink. Для зручності зображення контур регулювання струму, у який вкладений контур регулювання напруги, представлений макроблоком. Кількість таких макроблоків відповідає кількості двигунів, тобто їх два. Сигнал струму  $I$  й сигнал напруги  $U_1$  знімається з першого макроблоку. Також в окремих вікнах виводяться сигнали швидкості  $w$  і положення  $F_i$ . Реєстрація вихідних сигналів здійснюється блоками To Workspace.

Були досліджені режими роботи системи, які відповідають режимам роботи механізму повороту одноківшевого екскаватора: поворот екскаватора у забій (розгін, рух зі сталою швидкістю і гальмування); робота екскаватора у забої; поворот екскаватора на розвантаження (розгін, рух зі сталою швидкістю і гальмування в зворотну сторону); розвантаження ковша (рис.1-4).

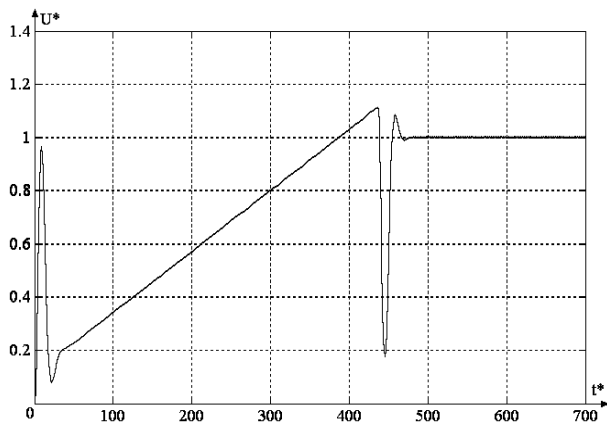


Рис. 2. Графік залежності напруги якоря  $U(t)$  від відносного часу при розгоні платформи без навантаження

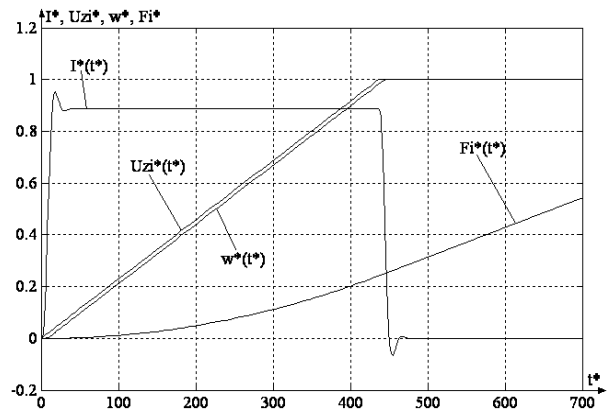


Рис. 3. Графіки залежностей  $I(t)$ ,  $UZI(t)$ ,  $W(t)$ ,  $Fi(t)$  при розгоні платформи без навантаження

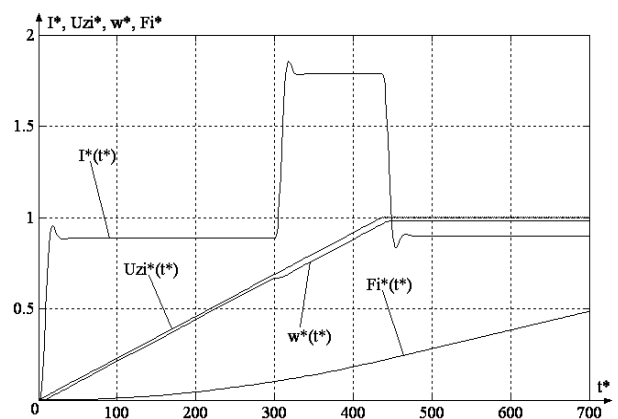


Рис. 4. Графіки залежностей:  $I(t)$ ,  $UZI(t)$ ,  $W(t)$ ,  $Fi(t)$  при розгоні платформи з навантаженням

Для одержання перехідних функцій контурів регулювання напруги, струму і швидкості використані відповідні моделі. Моделювання даної електро-механічної системи з урахуванням пружності і зазо-

рів проводилося аналогічно попередньому методу, але для проведення досліджень додатково був застосований блок механічної частини тримасової елект-

ромеханічної системи (TEMS). Модель САК електропривода з урахуванням пружності системи приведена на рис. 5.

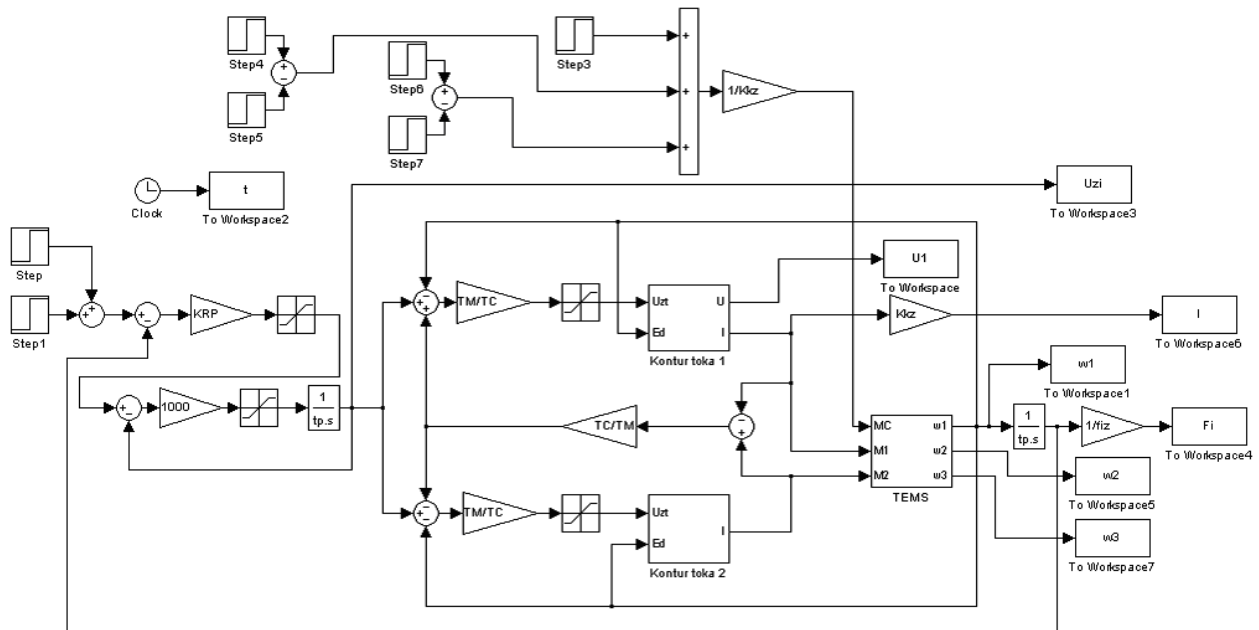


Рис. 5. Модель САК електропривода поворотної платформи екскаватора з урахуванням пружності

В процесі моделювання отримані графіки перехідних процесів в системі з задавачем інтенсивності першого та другого роду. При цьому було досліджено режими без регуляторів та з регуляторами напруги і пружного моменту [5].

Отримані графіки зображені на рис. 6-9.

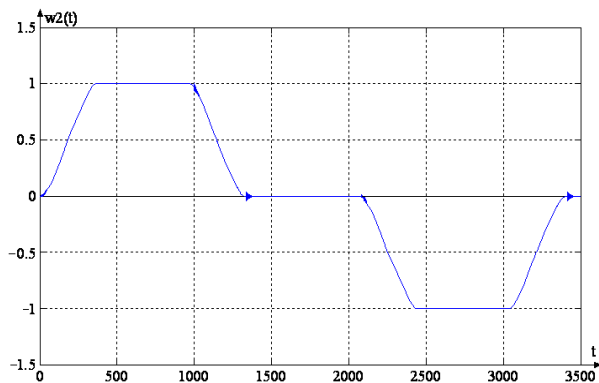


Рис. 6. Залежність швидкості першої маси від часу

Як можна побачити з графіків, при дослідженні швидкості другої маси з'являються невеликі перерегулювання.

В результаті проведених досліджень отримано такі результати:

– графіки перехідних процесів без врахування пружності та із задавачем інтенсивності першого роду не відображають коливаний поворотної платформи екскаватора, при цьому швидкість двигуна відповідає завданню швидкості та має незначні від-

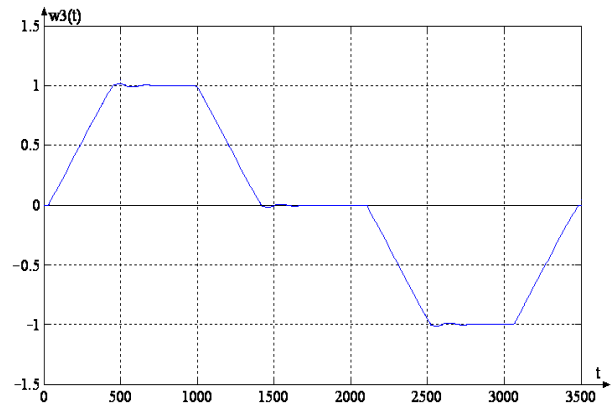


Рис. 7. Залежність швидкості другої маси від часу

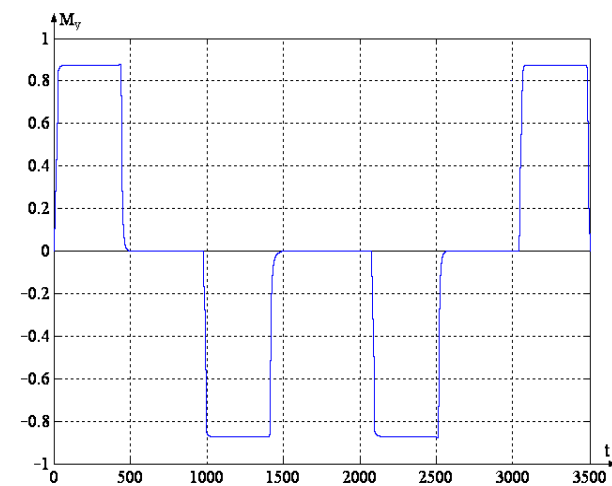


Рис. 8. Залежність пружного моменту від часу

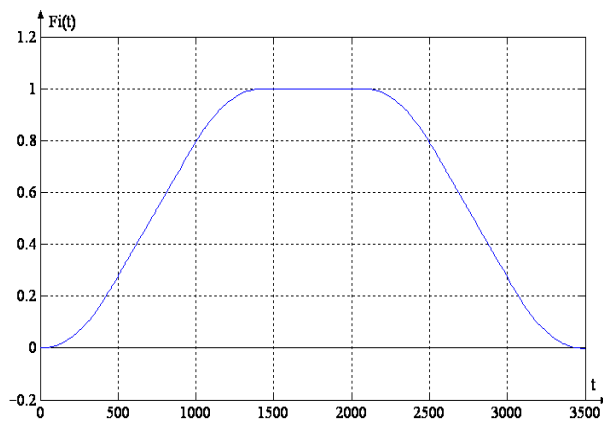


Рис. 9. Залежність кута положення від часу

хилення на ділянках навантаження. Перехідні процеси по струму мають невелике перерегулювання;

– графіки перехідних процесів з врахуванням пружності та задавачем інтенсивності першого роду відображають незначні коливання. Крім того, на характеристики впливають люфти, зазори й пружні зв'язки. Про це свідчить виникнення високочастотних коливань на перегибах швидкості другої маси. Ці коливання накладаються на коливання, викликані пружністю кінематичного ланцюга;

– при використанні задавача інтенсивності другого роду вдається добитися лінійної зміни прискорення (обмеження ривку);

– в системі без регулятора напруги спостерігалася найгірша динаміка (значні коливання); а в системі з регулятором напруги та при використанні регулятора пружного моменту вдалося отримати кращу динаміку, яка показує лише незначні коливання.

## Висновки

Таким чином, розроблена комп'ютерна модель САК дводвигунного реверсивного тиристорного

електроприводу постійного струму для поворотної платформи кар'єрного екскаватора дала змогу проаналізувати динамічні властивості електроприводу екскаватора разом з його механічною частиною.

Проведене математичне моделювання системи показало, що найкраща динаміка досягається при використанні чотирьоконтурної системи регулювання з використанням регулятора пружного моменту та задавачем інтенсивності другого роду.

## Список літератури

1. Портной Т.З., Парфёнов Б.М., Коган А.И. Современное состояние и направления развития электротехнических комплексов одноковшовых экскаваторов / Т.З. Портной, Б.М. Парфёнов, А.И. Коган. – М.: Знак, 2002. – 113 с.
2. Ключев В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода / В. И. Ключев. – М.: Энергия, 1971. – 320 с.
3. Воскобойник В.Э. Основы электропривода производственных машин и комплексов: учебное пособие / В.Э. Воскобойник, В.А. Бородай – Д.: Государственный ВУЗ «НГУ», 2015. – 121 с.
4. Куцук А.С. Автоматизовані системи керування на прогнорованих логічних контролерах: Навч. посіб. - Нац. ун-т «Львівська політехніка» / А.С. Куцук, В.О. Місюренко. — Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2011. — 199 с.
5. Тамарянський І.С., Єрмілова Н.В. Аналіз параметрів електропривода поворотної платформи екскаватора з урахуванням пружності системи // Збірник тез за матеріалами III Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія інновації, практика». (Полтава, 4 грудня 2017 р.) – Полтава: ПолтНТУ, 2017.

Надійшла до редколегії 27.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОВОРОТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ОДНОКОВШОВЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Н.В. Ермилова, Е.В. Гаврилко, С.Г. Кислица

*В статье рассмотрено современное состояние и направления развития электропривода механизма поворота одноковшовых экскаваторов. Разработаны компьютерные модели систем автоматического управления для двух случаев: без учета и с учетом упругих свойств объекта. Проведенное моделирование системы позволило проанализировать динамические свойства электропривода экскаватора вместе с его механической частью и получить выводы о путях достижения наилучшей динамики системы.*

**Ключевые слова:** электропривод экскаватора, поворотная платформа, упругость системы, компьютерная модель, автоматическое управление.

## MODELING AND RESEARCH OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE ONE-BUCKET EXCAVATOR ROTARY PLATFORM

N.V. Yermilova, E.V. Gavrilko, S.G. Kyslytsia

*Modern state and directions of development of the electric drive the turning mechanism of one-bucket excavators are observed in the article. Computer models of automatic control systems are developed for two cases: without taking into account and with taking into account the elastic properties of the object. The simulation of the system gave the opportunity to analyze the dynamic properties of the excavator electric drive in combination with its mechanical part and obtain conclusions about the ways of achieving the best dynamics of the system.*

**Keywords:** electric drive of the excavator, rotary platform, system elasticity, computer model, automatic control.

А.М. Луцишин, Г.С. Степанов, І.А. Костюк

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ

## ПРОБЛЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОТИПОВІТРЯНОЮ ОБОРОНОЮ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЇ ЗБРОЙНИХ СИЛ

В статті розглянуто роль і місце протиповітряної оборони у системі стратегічних дій та її вплив на забезпечення обороноздатності держави. Вказані проблемні питання, які впливають на організацію та ведення протиповітряної оборони. Розглянуто протиріччя існуючих теоретичних підходів до управління протиповітряною обороною України з практичними можливостями її реалізації. Причини їх виникнення та вплив на ефективність управління протиповітряною обороною. Особливістю питання, що розглядається в статті, є урахування умов управління протиповітряною обороною під час стратегічної операції збройних сил, яка має комплексний характер проведення, в основі якого покладено одночасне застосування міжвидових угруповань військ пов'язаних єдиною стратегічною метою. Розглянуто шляхи їх вирішення та визначені напрямки для подальшого дослідження з метою обґрунтування рекомендацій по підвищенню ефективності управління протиповітряною обороною у ході ведення операції ЗС без зниження ефективності системи протиповітряної оборони держави.

**Ключові слова:** управління, ППО, система управління, ефективність управління, ВДО, критичні об'єкти держави, органи управління, пункти управління ППО.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку теорії воєнного мистецтва домінує розвиток концепцій “мереже-центрічних” та “безконтактних” війн. Досягнення науки та техніки вплинуло на розвиток воєнних технологій. Підвищення вогневих, просторових, маневрених можливостей озброєння вимагає перегляду положень тактики та оперативного мистецтва. Елементи теоретичних напрацювань інтенсивно випробуються на практиці, під час останніх збройних конфліктів. Досягнення цілей

збройного протиборства вирішується не за рахунок розгрому збройних сил, угруповань (живої сили та ОВТ) а за рахунок підриву економіки, порушення системи державного управління шляхом нанесення повітряно-космічних ударів по критичним об'єктам державного управління, економіки, знищення важливих військових об'єктів управління, логістики, ВПК, порушення об'єктів інфраструктури та комунікацій на просторі усієї держави, що здійснює спротив. Порівняльний аналіз змін особливостей війн, де застосовувалась повітряна компонента, наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Порівняння особливостей війн IV – VI поколінь

Покоління війн (збройних конфліктів)	Параметри порівняння					
	Основне озброєння	Основний вид протиборства			Масштаб війни (рівень)	Мета
суходіл		море	повітря			
IV	Автоматична та реактивна зброя механізм. війська, танки, авіація, авіаносці, підводні човни	Операції фронтів	Морські операції	Повітряні удари по військах, авіаційні бої	Стратегічний	Розгром ЗС противника руйнування його економ. потенціалу, зміна політичного устрою
V	Ракетно-ядерна зброя	Ракетно-ядерний удар			Стратегічний, глобальний, загроза загибелі цивілізації або окремих континентів	Цілі не досягаються – сторона, яка застосовує ядерну зброєю знищується другою
VI	Високоточна зброя, зброя на новітніх фізичних принципах, інформаційна зброя, сили та засоби РЕБ	Спільна повітряно-морська наземна операція	Спільна повітряно-наземна морська операція	Повітряно-космічна операція із застосуванням звичайної зброї	Оперативно-стратегічний	Підриг економіки, порушення системи державного управління підриг життєдіяльності держави, знищення військових об'єктів

Перспективний підхід до застосування ЗПН та їх наслідки дозволяють паралізувати функціонування сторони, що обороняється та досягти воєннополітичних цілей війни (збройного конфлікту) з збереженням бойового потенціалу наземного угруповання військ та найменшими економічними витратами і людськими втратами [2-7].

Як наслідок, протиповітряна оборона стала одним з основних стратегічних факторів які визначають рівень безпеки держави. Стан системи ППО один з факторів, який визначає її обороноздатність. Протиповітряна оборона організовується у мирний час та здійснюється постійно, як у мирний час так і в особливий період.



Для ефективного виконання завдань ППО держави залучаються визначені сили та засоби всіх видів ЗС а також сили та засоби державних організацій та установ. Як наслідок, управління протиповітряною обороною є процес підвищеної складності, який повинен формувати цільовий управляючий вплив на суб'єкти управління в стислі терміни (у масштабі реального часу) та постійно здійснювати моніторинг за змінами всієї системи.

Проблема, щодо підвищення ефективності системи ППО має давню історію. Її вирішення як у СРСР так і в Україні вирішувалась шляхом реформування. Реформувались війська ППО, як вид ЗС. правонаступником військ ППО та ВПС є Повітряні Сили Збройних Сил України, на які поклали відповідні завдання двох видів. Була створена інтегрована система управління, яка спроможна виконувати визначені завдання Повітряних Сил і усунула проблему управління силами та засобами частин ЗРВ, РТВ та авіації.

На теперішній час, остається актуальним питання – підвищення ефективності протиповітряної оборони міжвидових угруповань Збройних Сил під час їх спільного оперативного застосування у ході ведення стратегічної операції.

Одна з важливих проблем, що впливає на ефективність протиповітряної оборони міжвидових угруповань Збройних Сил це забезпечення ефективного управління силами та засобами ППО ПС ЗС України та ППО СВ ЗС України під час ведення стратегічної операції ЗС України та виконання завдань протиповітряної оборони держави.

Зазначена проблема обумовлена протиріччям існуючих теоретичних підходів до організації управління протиповітряною обороною України з практичними можливостями її реалізації. Особливістю підходу до аналізу зазначеної проблеми, в статті є урахування вимог (умов) до проведення виду стратегічних дій – операції ЗС. Операція ЗС має комплексний характер проведення, в основі якого покладено одночасне застосування міжвидових угруповань військ, пов'язаних єдиною стратегічною метою.

На даний час підвищення ефективності управління протиповітряною обороною у ході ведення операції ЗС приводить до зниження ефективності системи управління протиповітряної оборони держави і як наслідок, зниження загальної системи протиповітряної оборони.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Державна програма розвитку Збройних Сил України на період до 2020 року передбачає заходи розвитку системи управління, удосконалення системи пунктів управління з обладнанням їх засобами сучасної автоматизації [1].

Періодичні видання [1-8] висвітлюють погляди на розвиток здійснення управління міжвидовими угрупованнями військ у ході їх застосування, угру-

повання ППО розглядається тільки для здійснення прикриття військ без виконання завдань ППО держави. В [9-10] запропоновані шляхи підвищення ефективності системи управління ППО за рахунок удосконалення технічної складової – АСУ. В [9 - 13] представлено методичний підхід щодо оцінки ефективності системи управління силами та засобами ППО. У виданнях [14, 16, 17] розглядається побудова угруповання військ на принципах “мережочентричної” концепції. Матеріал видання [15] розглядає основні показники для оцінки ефективності функціонування системи ППО на сучасному етапі. У роботі [10, 13, 18] пропонується до розгляду удосконалення показників для оцінки ефективності структури системи управління. Таким чином можливо констатувати, що певна робота по вирішенню проблеми ведеться. Але існує необхідність в узагальненні виявлених проблем, їх деталізації з наступним виявленням причин їх існування для подальшого визначення шляхів їх вирішення.

**Метою статті** є розгляд проблемних питань управління протиповітряною обороною України в операції Збройних Сил та шляхів щодо їх вирішення.

## Виклад основного матеріалу

Якісне функціонування системи управління ППО держави, як підсистема управління ЗС, є основним фактором ефективного виконання завдань протиповітряною обороною під час:

- підготовки держави до відсічі збройної агресії; ведення Збройними Силами стратегічної операції щодо відбиття вторгнення;
- виконання різнопланових завдань оперативними та тактичними угрупованнями військ (ОУВ, ОТУ) на головному та інших оперативних напрямках; відновлення та перегрупування військ.
- Основу системи управління ППО держави складає система управління Повітряних Сил Збройних Сил. Її властиві особливості функціонування, а саме: велика різноманітність різнорідних багатofункціональних об'єктів управління;
- інтенсивні потоки неоднорідної за призначенням, складом, змістом та формою інформації;
- висока швидкість зміни обстановки як при відбитті ударів ЗПН, так і при нанесенні повітряних ударів у ході проведення повітряної (протиповітряної) операції,
- складна радіоелектронна обстановка;
- багатоваріантність та висока динаміка змін стану, структури системи для забезпечення високої живучості та скритності функціонування;
- велика відстань між об'єктами управління; функціонування в реальному масштабі часу;
- обмежений термін на прийняття рішення в умовах недостатності і невизначеності інформації про обстановку [9, 10].

Постійне функціонування системи управління ППО в зазначених умовах забезпечує спроможність збройних сил виконати поставлені завдання. Під час функціонування, на кожний загрозовий вплив здійснюються ряд основних заходів: підготовка та організація роботи органів управління, розгортання відповідних пунктів управління силами та засобами ППО, обладнання (дообладнання) системою зв'язку та засобами автоматизації, організація роботи щодо підтримання матеріально-технічної основи в боєздатному стані (відновлення) та організація контролю за станом її бойової готовності і готовності до переходу вищі ступені функціонування.

Система управління ППО розгортається на базі діючого угруповання сил та засобів ППО ПС та нарощується у особливий період під час розгортання угруповання ППО держави. Вона забезпечує управління силами та засобами ППО для прикриття з повітря всі подальші заходи, які сплановані для відсічі збройної агресії.

Створення (посилення) міжвидових угруповань проводиться пізніше. Заходи їх розгортання, підготовки до бойових дій здійснюються під протиповітряним прикриттям в загальній системі ППО уже створеного угруповання ПС.

Не спроможність системи управління ППО виконати визначені завдання, може привести у подальшому до фатальних наслідків під час застосування міжвидових угруповань військ.

У разі залучення частини сил та засобів авіації і ППО ПС елементів системи управління ПС (ПУ, засоби зв'язку і автоматизації) до виконання завдань за планами ОУВ, під безпосереднім керівництвом їх командувачів, виникає проблемне питання – підвищення ефективності системи ППО угруповання військ за рахунок зниження ефективності системи ППО держави, як наслідок – загальна ефективність операції ЗС теж знижується. Особливо зміни в угрупованнях військ впливають на систему управління. Здійснюється її ускладнення за рахунок збільшення об'єктів управління, розгортання додаткових (проміжних) ПУ, розпорошення фахівців ППО оперативної ланки, ускладнення системи зв'язку та збільшення обігу потоків інформації. Як наслідки – погіршення оперативності, організації взаємодії, маневреності, прихованості дій [8-12]. Загальний наслідок – зменшення ефективності виконання завдань оперативного та стратегічного рівня.

Раніше автономність у діях військ і сил ППО різних видів ЗС в певній мірі компенсувалася досить великим кількісним складом сил та засобів. В дійсний час, в умовах жорстких фінансових обмежень і оптимізації чисельності Збройних Сил, цей шлях підвищення ефективності протиповітряної оборони став неможливим.

Головна вимога щодо управління військами, наявними у них силами та засобами ППО - забезпечити повне використання їх потенційних можливостей в інтересах успішного і своєчасного виконання

поставлених перед ними завдань, як в мирний (на етапі підготовки), так і у воєнний час (під час виконання завдань за призначенням). Виконання цієї вимоги можливо через виконання часткових вимог, що складають проблемні питання.

Додаткові вимоги пропонується розподілити на напрямки:

вимоги до системи управління (організаційно-технічна складова) – забезпечення постійної готовності до функціонування, стійкість, прихованість; вимоги до управління військами (у частині цілеспрямованої діяльності органів управління) – якість, безперервність і оперативність. Так як організаційно-технічну основу управління складає система управління, розглянемо шляхи її вдосконалення за її складовими елементами, які на протязі останніх заходів реформування постійно підпадали під “експерименти” з нульовим або негативним результатом:

вдосконалення організаційно-штатних структур органів управління;

вдосконалення складу і структур пунктів управління.

Безсумнівно, що для роботи в цих напрямках необхідно чітко бачити тенденції, фактори, які здійснюють негативний вплив.

Негативні тенденції, фактори, які здійснюють вплив є наслідками сучасних змін, які здійснюються у підготовці і веденні бойових дій, міжвидових операцій.

По-перше, все більш вирішальне значення набуває фактор часу, який визначається можливостями сучасних засобів повітряного нападу (ЗПН), швидкістю сучасної зброї, зростанням мобільності військ, їх здатність, в короткі терміни приводитись у готовність до бою, швидко здійснювати маневр і як наслідок, раптово завдавати удари.

По-друге, постійно збільшується обсяг управлінських робіт, пов'язаний з появою ряду нових заходів по управлінню визначеними силами та засобами різномірних суб'єктів що залучаються до ППО.

Збільшилась кількість необхідної інформації в ході управління військами, що обумовлено великим просторовим розмахом бойових дій, різноманітністю застосовуваних бойових засобів, збільшенням кількості об'єктів управління, різкими змінами обстановки, обмеженість у часі на формування та здійснення управлінського впливу.

По-третє, зростає вимогливість до змісту та повноти рішень, які повинні спиратися не тільки на інтуїцію і досвід командира, але, перш за все, на чіткі розрахунки, об'єктивну кількісно-якісну оцінку можливостей сторін і оперативне прогнозування.

По-четверте, збільшуються можливості сил і засобів розвідки і поразки ЗПН противника, що збільшує вимогливість до прихованого управління і забезпечення безперервності управління на великій відстані у реальному масштабі часу.

Виходячи з вищезазначеного, проблемними питаннями управління протиповітряною обороною є:

проблема виграшу часу, тобто підвищення оперативності управління;

проблема розрахункового обґрунтування прийнятих рішень і оптимізація планування;

проблема забезпечення скритності і безперервний контроль (формування управлінського впливу).

Умови ведення сучасних і перспективних бойових дій вимагають перш за все уточнити існуючі принципи управління військами.

Потрібує уточнення принципу “централізації управління”, з наданням підлеглим ініціативи у визначенні способів виконання поставлених перед ними завдань.

На даний час бойові завдання військам ставляться зверху вниз по підпорядкованості. Отримавши бойове завдання, командир, згідно з вимогами наших статутних документів, зобов'язаний прийняти рішення про способи виконання бойового завдання і доповісти його своєму начальнику і тільки після затвердження замислу він може поставити завдання своїм підлеглим. Так відбувається на кожному рівні системи управління (командній інстанції). Подібний порядок значно подовжує цикл управління, що в умовах ведення протиповітряних, повітряних бойових дій, знижує оперативність управління та знімає відповідальність з командира нижчої ланки, адже рішення затверджено старшим начальником, тобто відбувається порушення принципів “надання підлеглим ініціативи ...” і “відповідальності за правильне застосування підпорядкованих військових частин.

Ще більше збільшення циклу управління відбувається при плануванні бойових дій застарілими методами. Особливо наочно це відбувається при плануванні вогневого ураження противника та плануванні взаємодії. Існуюча організація роботи з планування займає дуже багато часу і часто не відповідає швидкоплинності змін обстановці.

Варіантом зменшення терміну проведення циклу управління є:

перегляд кількості та змісту планувальних, розпорядчих документів на кожному управлінському рівні;

перехід до спільного принципу планування, за рахунок залучення оперативних груп від взаємодіючих органів військового управління інших видів ЗС на ПУ, у перспективі створити штатні структурні підрозділи на ПУ з представниками.

Це дозволить підвищити оперативність управління, а значить і його ефективність.

Поряд з методами послідовної, паралельної роботи та їх поєднанням, перспективним є метод спільної роботи по виробленню замислу операції (бою). Цей метод передбачає участь підлеглих командирів у виробленні задуму. Такий метод широко використовується, коли замисел бою виробляється на нараді за участю командирів об'єднань, військових частин. При сучасних і перспективних засобах управління такий метод можливий без безпосеред-

нього виклику підлеглих командирів на КП старшого начальника, і забезпечить чітке розуміння всіма підлеглими командирами замислу свого начальника, місце і роль свого об'єднання (частини, підрозділу) в операції (бою), полегшить підтримку взаємодії.

Потрібує уточнення принципу “плановості ведення бойових дій”. В останній час деталізація при плануванні перевищила рівень необхідності. Планування у штабі виду здійснюється з деталізацією до батальйону, дивізіону, окремого радіолокаційного взводу. Як наслідок – органи управління перевантажені розробкою всіляких планів із зайвою деталізацією і це часто є причиною неузгодженості як самих планів, так і дій частин. Як варіант, необхідно виходити з вимоги спрощення планування, бо тільки простий і ясний планувальний документ, чіткі накази і розпорядження зменшує можливість неправильного розуміння завдань і полегшать їх виконання.

Діяльність органів управління можливо поділити на два основних види: аналітично – планувальна (прогностична) та інформаційно-розрахункова.

Аналітично - планувальна (прогностична) діяльність - головний вид діяльності в управлінні.

Інформаційно-розрахункова діяльність - допоміжна, вона призначена забезпечити головний вид діяльності.

За обсягом трудовитрат інформаційно-розрахункова діяльність в даний час займає близько 80% трудовитрат органів управління і лише близько 20% припадає на аналітично - планувальну діяльність. Така різниця в трудовитратах не відповідає вимогам до організації управління. Дослідження показують, що для здійснення ефективного управління підпорядкованими військовими частинами, в сучасних умовах, необхідно час на інформаційну діяльність органів управління скоротити до 15-20% і вивільнити час для творчої та організаторської діяльності до 80-85%. Досягти цього неможливо без впровадження в методи і зміст роботи органів управління нових інформаційних технологій, уніфікації процесів (стандартних процедур). Перейти до технології інформаційних мереж, систем автоматизованого моделювання, обробки інформації (прийняття рішення, планування), нових технічних засобів збору, обробки, зберігання, передачі та відображення інформації.

Вирішення цієї проблеми слід шукати в:

упорядкуванні потоку інформації;

виробленні науково-обґрунтованих методів прийняття рішення і планування операції (бою);

систематизації методик оперативно-тактичних розрахунків;

застосуванні засобів автоматизації при розробці бойових документів;

переході до без паперової інформаційної технології;

зниження дублювання інформації;

створення бібліотек даних (електронних баз) з автоматизованого управління військами з можливістю коригування планів бойового застосування військ;

можливості забезпечення автоматизованого контролю за виконанням прийнятих рішень (розроблених планів) з видачею результатів порівняння реальних дій військ (сил) з очікуваними відповідно до розроблених планів;

забезпеченні здійснення автоматизованого контролю за збором даних обстановки з видачею попередження про дані які не надійшли до даного часу;

підвищенні рівня автоматизації (за рахунок використання математичних моделей) з вироблення рекомендацій на раціональне застосування сил і засобів при різних варіантах дій противника, моделюванні бойових дій, розробці планів бойового застосування військ, доведення до них бойових завдань в автоматизованому режимі.

Щодо діяльності органів управління. Досвід бойових дій, оперативної та бойової підготовки свідчить, що існуючі органи управління забезпечують керівництво військами в основному в мирний час, проте не в повній мірі відповідають обсягу та характеру покладених на них завдань у воєнний час. Для більшості органів управління характерна суттєва перебудова їх структури при переході на бойовий режим роботи. При цьому відбувається перерозподіл особового складу по структурним підрозділам, його часткове перепідпорядкування і зміна функціональних обов'язків. Ця перебудова необхідна для створення органів управління з планування і організації управління. Це актуально для групи загального планування, групи планування вогневого ураження, групи напрямків, центру інформації і ін. Як наслідок, необхідність проведення злагодження органів управління в умовах дефіциту часу. Крім того, при виконанні завдань в інтересах міжвидового угруповання військ, або декількох угруповань, потрібне створення додаткових структурних підрозділів у складі ПУ Командування ПС, повітряного командування з представниками органів управління військами різних відомств. Все це не забезпечує випереджаючої готовності органів управління по відношенню до бойової готовності військ. Відмінності в організаційно-штатних структурах органів управління мирного і воєнного часу негативно позначаються на управлінні військами при переведенні їх на військовий стан і, особливо, на початку війни. Як варіант, основний напрямок вдосконалення органів управління - створення штатних органів для підготовки військ і керівництві ними в ході бою. Це перш за все: штатні органи загального планування, планування та управління вогневим ураженням противника, інформації та інші. В основі визначення чисельності органів управління та їх структурних підрозділів головним показником враховувати той обсяг управлінських завдань, що цей орган може виконати даними складом в певний проміжок часу. Зміна ж обсягу і трудомісткості завдань повинно взаємопов'язуватись з чисельністю структурних підрозділів. Необхідно провести уточнення функціональних обов'язків з метою виключення дублювання однієї і

тієї ж роботи, підвищувати продуктивність праці за рахунок вдосконалення засобів управління і методів роботи. Важливим фактором, що впливає на чисельність органів управління, є норми керованості посадових осіб (кількість підлеглих, діяльністю яких може ефективно управляти один керівник в певних умовах). В даний час при сучасних засобах управління такий рівень може становити: для командувачів (командирів) в оперативній ланці - 4-6, в тактичній ланці - 4-7 об'єктів управління, для начальника штабу, в оперативній ланці - 5-7, в тактичній ланці - 6-8 об'єктів управління [8-10].

Одним із слабких місць організаційно-штатної структури існуючих органів управління є їх штатна чисельність, яка, як правило, недостатня для вирішення оперативним складом завдань на всіх пунктах управління (особливо в управлінні ПвК і бригадній (полковій) ланці). Особовий склад штатно за пунктами управління не закріплений і визначається бойовим розрахунками. Частина покладених на органи управління завдань вирішується позаштатними оперативними (робочими) групами, як правило, в належній мірі не забезпеченими коштами управління. Велика частина оперативного складу виділяється для роботи на ПУ, що розгортаються та на взаємодіючі. Оперативний склад ЗКП за чисельністю, якістю і можливостям поступається оперативному складу КП в 3 - 4 рази, при необхідності він не може без додаткового посилення своєчасно взяти на себе і виконати завдання управління військами.

Аналіз існуючого порядку отримання, обробки і передачі інформації свідчить про нераціональне розподілі інформаційного потоку в органах управління. Внаслідок нерівномірного розподілу потоку інформації відбувається нераціональна завантаження різних засобів прийому та передачі інформації, що знижує оперативність управління. Значна частина робочого часу (до 35%) висококваліфіковані фахівці органів управління витрачають на виконання не властивих їм функцій з передачі, зчитування, редагування і іншим ділових операцій. Ефективність управлінської діяльності також знижується і за рахунок значного документообігу, не передбаченого керівними документами (до 30%). Внаслідок цього, керівний склад, офіцери штабу, чергові зміни КП перевантажені зайвою інформацією. Для вирішення цих проблем протягом останніх років до організаційно-штатної структури органів управління, вносяться зміни. Йде робота по пошуку оптимальної структури до штатних робочих груп ПУ та управління військових частин, перш за все груп які відповідають за здійснення загального планування і планування вогневим ураженням противника. Але загальною тенденцією скорочення чисельності управлінського апарату штабів оперативної та оперативно-тактичної ланки є зменшення чисельності офіцерів-операторів, що має негативні наслідки.

Загальну ефективність ППО у визначених межах зон відповідальності угруповання ПС можливо

значно підвищити за рахунок реалізації оперативного управління всіма військами, силами та засобами ППО, шляхом:

по-перше, зосередження зусиль на основі єдиного задуму і плану для вирішення найбільш важливих завдань;

по-друге, інтегрування та узгодження дій різновидових військ і сил, засобів ППО.

При цьому бойовий потенціал всіх військ, сил і засобів ППО розподіляється в залежності від ступеня загрози об'єктам оборони та їх важливості. Пріоритетність об'єктів, що обороняються доцільно визначати на кожен момент ведення військових дій (операцій, бойових дій) відповідно до ступеня їх важливості в зоні (районі) ППО. Принцип оборони по пріоритетності об'єктів не поширюється на штатні формування ППО частин і з'єднань Сухопутних військ, а також флотські зенітні вогневі засоби (*доповідь заходів оперативної підготовки*). Вони безпосередньо підпорядковуються своїм командирам і діють в бойових порядках своїх військ (сил), проте оперативне (бойове) керування ними при відображенні ударів ЗПН в тій чи іншій мірі має здійснюватися з командних пунктів ППО (ЦУО, ОКП ПвК).

Застосування запропонованого підходу піднімає проблему визначення ступеня важливості об'єктів.

Один бік якої пов'язаний з відповіддю на непросте питання: що важливіше, наприклад, військово-морська база, атомна електростанція, адміністративно-політичний центр або угруповання Сухопутних військ?

Визначення важливості об'єктів протиповітряної оборони, доцільно ґрунтувати на поєднанні аналітичних розрахунків та експертних оцінок, що дозволять досить впевнено відповісти на нього.

Інше питання: в чий це компетенції? Очевидно, визначенням важливості об'єктів повинні займатися безпосередньо Командування ПС ЗС України, повітряні командування у взаємодії з штабами, командуваннями інших видів ЗС.

Об'єктивне рішення даної задачі можливе тільки на основі як єдиного керівництва всіма військами і силами ППО, так і єдиної відповідальності командування за оборону об'єктів держави в зоні відповідальності ППО.

Як показують дослідження, приріст ефективності дій військ і сил ППО різних видів ЗС і родів військ за рахунок комплексування і узгодження їх дій може досягати 40-60%. Він забезпечується взаємною компенсацією слабких сторін одних угруповань військ (сил) сильними сторонами інших, зосередженням зусиль на знищенні найбільш важливих (небезпечних) засобів повітряного нападу і їх груп, а також зменшенням втрат авіації від вогню своїх зенітних ракетних засобів [3].

Комплексування і узгодження дій військ і сил ППО можливо тільки при централізованому оперативному (бойовому) управлінні ними. Отже, єдине централізоване оперативне управління повинно ор-

ганізовуватися для всіх без винятку військ, сил і засобів ППО. Саме ця обставина зазвичай викликає заперечення через сумнів в можливості управління великою кількістю засобів ППО малої дальності, наявних в з'єднаннях Сухопутних військ та на кораблях флоту.

Однак дослідження і досвід країн НАТО свідчать про те, що така можливість реальна, якщо перейти на нові принципи управління і побудови системи управління, управляти в зонах відповідальності ППО не окремими засобами, а силами. При цьому кожне з'єднання (частина), що потрапляє під визначену зону відповідальності ППО, підключається до інформаційної та командної систем, керуючий орган починає враховувати їх положення і бойові можливості (просторові, часові та вогневі), виробляє рішення і ставить завдання на дії, які узгоджуються з діями інших з'єднань (частин) ППО.

## Висновки

Таким чином, на сьогоднішній час теорія та практика в організації протиповітряної оборони під час проведення операції ЗС мають протиріччя, які впливають на ефективність застосування військ.

Одні з основних шляхів їх вирішення є:

визначення порядку управління протиповітряною обороною у ході ведення операції ЗС;

визначення оптимальної структури системи пунктів управління силами та засобами ППО у єдиній системі управління ЗС та удосконалення структури органів управління;

оптимізація обігу інформації під час управління ППО.

Запропоновані шляхи удосконалення потребують подальшого дослідження щодо визначення та обґрунтування рекомендацій по підвищенню ефективності управління протиповітряною обороною, особливо у ході ведення операції ЗС України.

Саме рішення вищезазначених проблемних питань сприятиме забезпеченню високої ефективності управління військами і зброєю.

## Список літератури

1. Указ Президента України №73/2017 "Про рішення національної безпеки і оборони України від 29 грудня 2016 року "Про Державну програму розвитку збройних сил України на період до 2020 року".
2. Загорка О.М. Аналіз підходів для визначення доцільних форм і способів бойових дій угруповань військ (сил) / О.М. Загорка, Р.І. Тимошенко, І.О. Загорка // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського. – 2015. – № 1 (53). – С. 7-12.
3. Петров В.М. Проблеми оперативного мистецтва Повітряних Сил Збройних Сил України / В.М. Петров, І.М. Тіхонов, О.В. Заболотний // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2016. – № 4 (49). – С. 35-37.
4. Щипанський П.В. Напрямки розвитку родів авіації та родів військ Повітряних Сил в перспективній структурі Збройних Сил України / П.В. Щипанський, О.В. Пу-

ховий, Г.С. Степанов // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського. – 2014. – № 2 (51). – С. 83-88.

5. Степанов Г.С. Досвід іноземних держав щодо здійснення прикриття об'єктів від можливих терористичних атак (актів) з повітря при проведенні заходів / Г.С. Степанов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2012. — № 1 (27). — С. 17-20.

6. Кларк Р. Третья мировая война: какой она будет? / Р. Кларк, Р. Нейк ; перс. англ. Е Карманова. СПб.: Питер, 2011.

7. Барабаш О.В. Трансформація положення теорії Джона Уордена в сучасних умовах вооруженої боротьби / О.В. Барабаш, С.Ю. Мухин, О.Н. Горський, Ю.К. Мирошинченко // Первий незалежний науковий вестник. – Київ, 2017. – № 22. – С. 8-12.

8. Каченко В. І. Проблема "міжвидовості" та шляхи її вирішення / В. І. Каченко, Є. Б. Смірнов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — 2013. — № 2. — С. 41-48.

9. Піскунов С. М. Перспективна структура системи управління силами та засобами протиповітряної оборони сухопутних військ / С. М. Піскунов // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2013р. – № 2 (35). – С. 6-10.

10. Нізієнко Б.І. Аспекти удосконалення системи управління протиповітряною обороною України / Б.І. Нізієнко, С.А. Юхновський, С.А. Макаров // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. — Харків, 2017. — № 1 (26). — С. 17-20.

11. Алімпієв В.А. Існуюча система ППО в зоні відповідальності ПвК, перспективи розвитку, система ППО майбутнього/ В.А.. Алімпієв, В.О. Курочкін, С.П. Мазін // Новітні технології для захисту повітряного простору: зб. Тез доповідей Тринадцятої наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 12 – 13 квітня 2017р. – Харків, 2017 – С.26.

12. Генев Б.А. Проблемні питання та можливі наслідки підвищення ефективності організації міжвидової взаємодії під час виконання завдань за призначенням /

Б.А.Генов, А.О. Бережний // Новітні технології для захисту повітряного простору: зб. Тез доповідей Тринадцятої наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 12 – 13 квітня 2017р. – Харків, 2017 – С.27.

13. Шинкарьов Є.М. Методичний підхід до оцінки ефективності системи управління протиповітряною обороною / Є.М. Шинкарьов, В.П.Городнов, С.В. Лазебник, О.Н. Мисюра // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 2 (51). – С. 25-27.

14. Загорка О.М.. Особливості та принципи побудови мережоцентричної системи управління угруповання військ (сил) / О.М. Загорка, В.В. Коваль, В.В. Тюрін, В.Г. Малюга, І.О. Загорка // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2016р. – № 3 (48). – С. 7-11.

15. Ермошин М.О. Основні показники для оцінки ефективності функціонування системи протиповітряної оборони / Ермошин М.О // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2008р. – № 2 (17). – С. 14-16.

16. Пунда Ю.В. Проблеми відповідності системи управління Збройними Силами України умовам гібридної війни / Ю.В. Пунда, С.І. Антоненко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського. – Київ 2017. – № 21 (28). – С. 120.

17. Алімпієв В.А. Існуюча система ППО в зоні відповідальності ПвК, перспективи розвитку, система ППО майбутнього/ В.А. Алімпієв, В.О. Курочкін, С.П. Мазін // Новітні технології для захисту повітряного простору: зб. Тез доповідей Тринадцятої наукової конференції Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. 12 – 13 квітня 2017р. – Х., 2017 – С.26.

Надійшла до редколегії 25.12.2017

**Рецензент:** канд. техн. наук, проф. Б.І. Нізієнко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## ПРОБЛЕМЫ ВЫБОРА УПРАВЛЕНИЯ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНОЙ ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЕРАЦИИ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ

А.Н. Луцишин, Г.С. Степанов, И.А. Костиук

В статье рассмотрены проблемные вопросы порядка организации управления протиповітряною обороною Украины в ходе выполнения задач межвидовыми группировками войск в ходе операции вооруженных сил, причины их появления и воздействие на эффективность управления протиповітряною обороною. Рассмотрено пути решения их и предложены направления для дальнейшего исследования с целью обоснования рекомендаций по повышению эффективности управления протиповітряною обороною в ходе проведения операции вооруженных сил.

**Ключевые слова:** управление, протиповітряная оборона, система управления, эффективность управления, важные государственные объекты, критические объекты государства, органы управления, пункты управления протиповітряною обороною.

## PROBLEM MANAGEMENT AIR DEFENCES DURING THE OPERATION OF THE ARMED FORCES

A.M. lutsyshyn, G.S. Stepanov, I.A. Kostiuk

In the article a role and place of air defense in the system of strategic actions and her influence are considered on providing of defensive capacity of the state. Indicated problem questions that influence on organization and conduct of air defense. Contradiction of the existent theoretical going is considered near organization of management air defense of Ukraine with practical possibilities of her realization. The feature of question that is examined in the article is realization of air defense during the strategic operation of the armed forces, that has complex character of realization in basis of that simultaneous application of interspecific groupments of troops constrained is fixed by an only strategic aim. Reasons of their origin and influence are on efficiency of management air defense. The ways of their decision and certain directions are considered for further research with the aim of ground of recommendations on the increase of efficiency of management air defense during the conduct of operation of 3C without the decline of efficiency of the system air defense of the state.

**Keywords:** management, air defence management system, management efficiency, important government facilities, critical state objects, controls, control points antiaircraft defense.

А.В. Одокиенко

*Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

## ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОСТИ ОПЕРАЦИИ ДЕЛЕНИЯ ОЦЕНОК ШУМОВЫХ ТЕМПЕРАТУР НА СМЕЖНЫХ ИНТЕРВАЛАХ НАБЛЮДЕНИЯ В РАДИОМЕТРЕ С НЕСТАБИЛЬНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ

*В статье обоснована оптимальность операции деления оценок шумовых температур на смежных интервалах наблюдения в радиометре с нестабильным коэффициентом усиления. Задача раздельной оптимизации статистических оценок шумовых температур случайных процессов, наблюдаемых на двух смежных интервалах времени равной длительности при открытом и закрытом входе модуляционного радиометра с нестабильным коэффициентом усиления, решена методом максимального правдоподобия. Показано, что одной из существенных операций синтезированного алгоритма первичной обработки сигналов является операция деления оценок их средних мощностей, измеренных на соседних временных интервалах. Выведены аналитические выражения для предельных погрешностей оценок шумовой температуры исследуемого источника и нестабильности коэффициента усиления. Эти погрешности зависят от времени наблюдения, ширины полосы рабочих частот по входу, отношения сигнал/шум и нестабильности коэффициента усиления. Полученный алгоритм обработки сигналов целесообразно реализовывать в радиометрах, в состав детекторных трактов которых входят недорогие низкостабильные усилители.*

**Ключевые слова:** модуляционный радиометр, коэффициент усиления, метод максимального правдоподобия, обработка сигналов, оценка шумовой температуры.

### Введение

Приемники собственного теплового излучения объектов в радиодиапазоне волн – радиометры – применяют для решения задач радиофизики в интересах как научных исследований, так и различных отраслей народного хозяйства. С помощью радиометров измеряют шумовые температуры объектов, которые содержат информацию об их свойствах и свойствах среды распространения сигналов. Значительные трудности при оценивании шумовых температур исследуемых источников излучения связаны с устранением нестабильности усилителей, размещенных во входном тракте радиометра. Природа таких нестабильностей разнообразна, но наиболее значительный вклад вносят флуктуации температуры радиоэлементов, вызванные изменением как внешних условий проведения эксперимента, так и нагреванием в процессе работы. Поэтому разработчики современных радиометров, работа которых предполагает минимальное вмешательство инженера, обеспечивают стабильность температуры. Например, при размещении радиометров на искусственных спутниках земли [1–3] такая температурная стабилизация обеспечивается выбором солнечно-синхронной орбиты, в других условиях – реализуют громоздкие системы термостабилизации [4] или сложные алгоритмы нулевого метода измерений [5].

Прежде всего, нестабильность усиления влияет на точностные характеристики измерений. С целью снижения этого влияния на измерения различными авторами предлагались разнообразные алгоритмы обработки сигналов, среди которых особо следует

выделить использующие модуляцию полезного сигнала. Одним из первых удачных технических решений радиометров с модуляцией был радиометр Dicke [6]. В современной литературе ему часто ошибочно приписывают свойство полной компенсации нестабильности усиления. Но в силу мультипликативного воздействия нестабильности коэффициента усиления на интенсивность шумовых процессов полностью устранить его влияние в таком приемнике не удастся.

В [7–10] синтезирован и исследован алгоритм обработки сигналов в модуляционном радиометре, предполагающий деление энергий сигналов, измеренных на соседних полуинтервалах функции модуляции (модуляция входных шумовых сигналов выполняется периодическим закрыванием и открыванием входа приемника). В настоящее время выполнены экспериментальные исследования, подтверждающие достоверность полученного алгоритма. В то же время интерес представляет решение оптимизационной задачи синтеза алгоритма в несколько иной постановке. Как показано в статье, новые результаты позволяют дополнительно вычленить особенности алгоритма с делением энергий и доказать принципиальную необходимость вторичной обработки – усреднения оценок радиояркостной температуры объекта. При синтезе алгоритма использованы элементы теории синтеза радиометрических устройств, систем и комплексов, изложенные в [11, 12].

**Постановка задачи.** Необходимо синтезировать и исследовать алгоритм оптимальной обработки стохастических сигналов радиотеплового излучения в приёмнике с флуктуациями усиления во входном тракте.



### Изложение материалов исследования

**Обоснование структуры входного (додетекторного) тракта радиометрического приемника.** При оценке статистических характеристик стохастического сигнала при нестабильном усилении минимальное количество оцениваемых неизвестных равняется трем. Один из них – оценка дисперсии (мощности, эффективной температуры) внутреннего шума. Эту оценку предположим известной. Оценить её можно с заданной степенью точности на этапе калибровки приемника непосредственно перед измерениями. Два оставшихся – оценка параметра сигнала (дисперсии, мощности, эффективной температуры) и оценка функции, описывающей нестабильность усиления, – могут быть оценены только в процессе измерений. Соответственно этому необходимы как минимум два независимых уравнения наблюдения. С этой целью целесообразно сформировать два математических (один физический) тракта, содержащих информацию о полезном сигнале и о флуктуации усиления. Это достигается использованием поочередного подключения и отключения приёмной антенны от входа приёмника. Т.е. реализации основного принципа работы модуляционных радиометров с модуляцией сигнала функцией в виде меандра. Математические модели и физическое устройство, реализующее два независимых уравнения наблюдения, показаны на рис. 1.

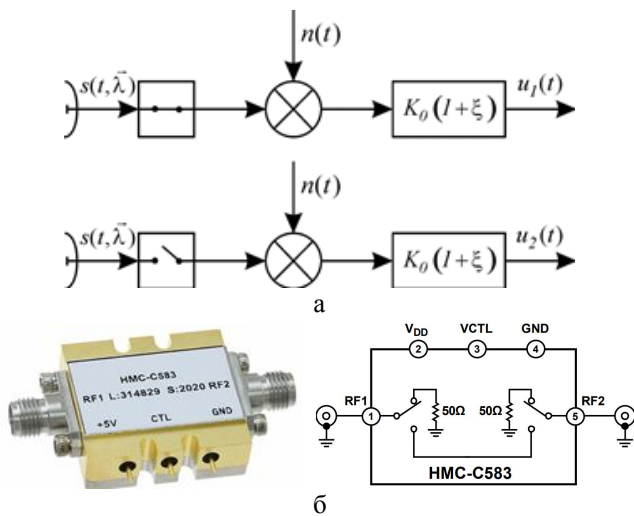


Рис. 1. Схема, соответствующая математическим моделям уравнений наблюдения (а) и переключатель HMC-C583 Analog Devices Inc. для диапазона частот 0,1–40 ГГц с его принципиальной схемой (б)

**Уравнения наблюдения.** Составим уравнения наблюдения соответственно приведенным рассуждениям и рис. 1, а). Учтём также, что измерения производятся в смежные короткие интервалы времени  $t \in (T_1, T_2)$  и  $t \in (T_2, T_3)$ ,  $T_2 - T_1 = T_3 - T_2 = \Delta T / 2$ , в течение которых изменяющийся во времени нестабильный коэффициент усиления  $K_0(1 + \xi(t))$  можно считать постоянным, т.е.  $K_0(1 + \xi(t)) \approx K_0(1 + \xi)$ .

В один из этих интервалов времени наблюдаются процесс, состоящий из суммы полезного шумового сигнала  $s(t, \vec{\lambda})$  и помехи в виде внутреннего шума приемника  $n(t)$ . В записи полезного сигнала  $s(t, \vec{\lambda})$  учтена его зависимость от вектора параметров  $\vec{\lambda}$ , которыми могут быть как статистические характеристики стохастического сигнала (мощность или эффективная температура), так и электрофизические параметры объекта исследования. В другой интервал времени наблюдается только внутренний шум приемника. Простейшая идеализированная модель наблюдаемых процессов может быть представлена системой уравнений

$$u_1(t) = [s(t, \vec{\lambda}) + n(t)]K_0(1 + \xi), \quad t \in (T_1, T_2), \quad (1)$$

$$u_2(t) = n(t)K_0(1 + \xi), \quad t \in (T_2, T_3). \quad (2)$$

Процессы  $s(t, \vec{\lambda})$  и  $n(t)$  на выходе линейной части приемника с коэффициентом усиления  $K_0$  сверхширокополосные, неразделимые и в идеализированном варианте их анализа и обработки полагаются гауссовыми процессами типа белого шума с нулевыми математическими ожиданиями  $\langle s(t) \rangle = 0$ ,  $\langle n(t) \rangle = 0$  и автокорреляционными и взаимно корреляционными функциями следующего вида:

$$R_s(t_1, t_2, \vec{\lambda}) = \langle s(t_1, \vec{\lambda})s(t_2, \vec{\lambda}) \rangle = \frac{N_{0s}(\vec{\lambda})}{2} \delta(t_1 - t_2), \quad (3)$$

$$R_n(t_1, t_2) = \langle n(t_1)n(t_2) \rangle = \frac{N_{0n}}{2} \delta(t_1 - t_2), \quad (4)$$

$$\langle s(t_1, \vec{\lambda})n(t_2) \rangle = 0, \quad (5)$$

где  $N_{0s}(\vec{\lambda})/2$ ,  $N_{0n}/2$  – спектральные плотности мощности (СПМ) полезного случайного процесса и помехи,  $\delta(t_1 - t_2)$  – дельта-функция,  $\langle \cdot \rangle$  – скобки статистического усреднения. СПМ являются двухсторонними, т.е. определенными на  $f \in (-\infty, \infty)$ .

Выше уже отмечалось, что нестабильность коэффициента усиления представлена функцией

$$K_0\xi(t) = \Delta K(t) \quad (6)$$

и изменяется во времени. Но на коротких интервалах наблюдения эта нестабильность полагается постоянной величиной

$$K_0\xi = \Delta K = \text{const}. \quad (7)$$

СПМ полезного сигнала и помехи связаны с эффективной шумовой (радиояркой) температурой источника излучения  $T_s$  и с эффективной шумовой температурой помехи  $T_n$  таким образом:

$$N_{0s}(\vec{\lambda}) = k_B T_s(\vec{\lambda}), \quad N_{0n} = k_B T_n, \quad (8)$$

где  $k_B$  – постоянная Больцмана.

СПМ исследуемого источника излучения  $N_{0s}(\vec{\lambda})/2$  и температура  $T_s(\vec{\lambda})$  зависят от его электрофизических и геометрических параметров  $\vec{\lambda}$ . В данном подразделе решается оптимизационная задача оценок СПМ  $N_{0s}$  или соответствующей ей температуры  $T_s$  совместно с оценкой коэффициента неста-



бильности  $\xi = \text{const}$ . СПМ внутреннего шума  $N_{0n}$  или соответствующая ей температура внутреннего шума  $T_n$ , оцениваемые на этапе калибровки радиометра, полагаются известной. В некоторых случаях в общем виде математическое описание этой задачи рассматривается относительно всех параметров  $\bar{\lambda}$ , входящих в систему уравнений наблюдения (1), (2), в число которых добавим и параметр неустойчивости  $\xi$ .

**Оптимальные оценки параметров  $\bar{\lambda}$  и  $\xi$  уравнений наблюдения.** Так как оцениваемые параметры являются постоянными величинами и их вероятностные распределения неизвестны, то решение данной оптимизационной задачи целесообразно искать в рамках метода максимального правдоподобия. Рассмотрим эту задачу в постановке раздельной оптимизации оценок искомых параметров в моменты времени  $t \in (T_1, T_2)$ ,  $t \in (T_2, T_3)$ . В таком варианте раздельной оптимизации оценки параметров находим в результате отдельного поиска максимумов двух функций правдоподобия для случайных процессов, наблюдаемых в соответствующие моменты времени. Для гауссовых уравнений наблюдения (1) и (2) с нулевым средним функции правдоподобия представим следующими выражениями:

$$\forall t \in (T_1, T_2) \quad p[u_1(t) | \bar{\lambda}, \xi] = k_1(\bar{\lambda}, \xi) \times \exp \left[ -\frac{1}{2} \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_1}^{T_2} u_1(t_1) W_{u_1}(t_1, t_2, \bar{\lambda}, \xi) u_1(t_2) dt_1 dt_2 \right], \quad (9)$$

$$\forall t \in (T_2, T_3) \quad p[u_2(t) | \xi] = k_2(\xi) \times \exp \left[ -\frac{1}{2} \int_{T_2}^{T_3} \int_{T_2}^{T_3} u_2(t_1) W_{u_2}(t_1, t_2, \xi) u_2(t_2) dt_1 dt_2 \right], \quad (10)$$

где  $W_{u_1(u_2)}(t_1, t_2, \bar{\lambda}, \xi)$  – функции, обратные корреляционным функциям  $R_{u_1(u_2)}(t_1, t_2, \bar{\lambda}, \xi)$ , определяются из интегральных уравнений обращения

$$\int_{T_2}^{T_1} R_{u_1}(t_1, t_2, \bar{\lambda}, \xi) W_{u_1}(t_2, t_3, \bar{\lambda}, \xi) dt_2 = \delta(t_1 - t_3), \quad (11)$$

$$\int_{T_2}^{T_3} R_{u_2}(t_1, t_2, \xi) W_{u_2}(t_2, t_3, \xi) dt_2 = \delta(t_1 - t_3), \quad (12)$$

$k_1(\bar{\lambda}, \xi)$ ,  $k_2(\xi)$  – коэффициенты, зависящие от  $\bar{\lambda}$  и  $\xi$ .

Корреляционные функции каждого из наблюдений найдены в следующем виде:

$$\begin{aligned} R_{u_1}(t_1, t_2, \bar{\lambda}, \xi) &= \langle u_1(t_1) u_1(t_2) \rangle = \\ &= (1 + \xi)^2 \cdot [R_s(t_1, t_2, \bar{\lambda}) + R_n(t_1, t_2)] = \\ &= K_0^2 (1 + \xi)^2 \frac{N_{0s} + N_{0n}}{2} \delta(t_1 - t_2), \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} R_{u_2}(t_1, t_2, \bar{\lambda}, \xi) &= \langle u_2(t_1) u_2(t_2) \rangle = (1 + \xi)^2 \times \\ &\times R_n(t_1, t_2) = K_0^2 (1 + \xi)^2 \cdot (N_{0n}/2) \cdot \delta(t_1 - t_2). \end{aligned} \quad (14)$$

Оптимальные оценки параметров  $(\bar{\lambda}, \xi)$  находим из условия максимумов функций правдоподобия (9), (10) или, учитывая монотонность экспонент, из эквивалентных условий

$$\frac{\partial \ln p[u_1(t) | \bar{\lambda}, \xi]}{\partial \lambda_\mu} = 0, \quad (15)$$

$$\frac{\partial \ln p[u_2(t) | \xi]}{\partial \xi} = 0. \quad (16)$$

Дифференцируя (15), (16) получим:

$$-\frac{1}{2} \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_1}^{T_2} \left[ \frac{\partial}{\partial \lambda_\mu} R_{u_1}(t_1, t_2, \hat{\lambda}, \hat{\xi}) \right] W_{u_1}(t_1, t_2, \hat{\lambda}, \hat{\xi}) dt_1 dt_2 - \quad (17)$$

$$-\frac{1}{2} \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_1}^{T_2} \left[ \frac{\partial}{\partial \lambda_\mu} W_{u_1}(t_1, t_2, \hat{\lambda}, \hat{\xi}) \right] u_1(t_1) u_1(t_2) dt_1 dt_2 = 0,$$

$$-\frac{1}{2} \int_{T_2}^{T_3} \int_{T_2}^{T_3} \left[ \frac{\partial}{\partial \xi} R_{u_2}(t_1, t_2, \hat{\xi}) \right] W_{u_2}(t_1, t_2, \hat{\xi}) dt_1 dt_2 - \quad (18)$$

$$-\frac{1}{2} \int_{T_2}^{T_3} \int_{T_2}^{T_3} \left[ \frac{\partial}{\partial \xi} W_{u_2}(t_1, t_2, \hat{\xi}) \right] u_2(t_1) u_2(t_2) dt_1 dt_2 = 0,$$

где " $\hat{\lambda}$ " – знак оценки,  $\lambda_\mu$  может быть параметром  $\xi$  и условно считаться одним из параметров  $\bar{\lambda}$ .

Для решения уравнений (17), (18) необходимо найти функции, обратные корреляционным функциям. Подставим выражение (14) в уравнение (12), а (15) в (13). В результате найдем функции, обратные корреляционным функциям в следующем виде:

$$\begin{aligned} W_{u_1}(t_1, t_3, \bar{\lambda}, \xi) &= \delta(t_1 - t_3) \times \\ &\times 2 / \left( K_0^2 (1 + \xi)^2 [N_{0s}(\bar{\lambda}) + N_{0n}] \right), \end{aligned} \quad (19)$$

$$W_{u_2}(t_1, t_3, \xi) = \frac{2}{K_0^2 (1 + \xi)^2 N_{0n}} \delta(t_1 - t_3). \quad (20)$$

Подставив (13) и (19) в уравнение правдоподобия (17), находим алгоритм обработки сигналов для оценки СПМ сигнала и шума

$$N_{0s}(\hat{\lambda}) + N_{0n} = \frac{2}{K_0^2 (1 + \hat{\xi})^2 \delta(0) (\Delta T/2)} \int_{T_1}^{T_2} u_1^2(t) dt. \quad (21)$$

Используя одну из моделей дельта-функции

$$\delta(t_1 - t_2) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{j2\pi f(t_1 - t_2)} df = \lim_{\Delta F \rightarrow \infty} \int_{-\Delta F}^{\Delta F} e^{j2\pi f(t_1 - t_2)} df,$$

при  $t_1 = t_2$  получим

$$\delta(0) = \delta(t_1 - t_2) \Big|_{t_1 = t_2} = \lim_{\Delta F \rightarrow \infty} \int_{-\Delta F}^{\Delta F} df = \lim_{\Delta F \rightarrow \infty} (2\Delta F) = \infty, \quad (22)$$

где  $2\Delta F$  – ширина спектра случайного процесса. Для белых шумов она равна бесконечности, т.е.

$$N_{0s}(\hat{\lambda}) = \lim_{\Delta F \rightarrow \infty} \frac{1}{(\Delta T/2) \Delta F K_0^2 (1 + \hat{\xi})^2} \int_0^T u^2(t) dt - N_{0n}. \quad (23)$$

Для небелых шумов, т.е. случайных процессов с ограниченной полосой  $\Delta F$

$$N_{0s}(\hat{\lambda}) = 1 / \left( (\Delta T/2) \Delta F K_0^2 (1 + \hat{\xi})^2 \right) \cdot \int_0^T u^2(t) dt - N_{0n}. \quad (24)$$

Решая аналогичным образом уравнение (18), находим оптимальную оценку множителя интенсивности  $(1 + \hat{\xi})^2$

$$(1 + \hat{\xi})^2 = \frac{2}{K_0^2 (\Delta T/2) \delta(0) N_{0n}} \int_{T_1}^{T_2} u_2^2(t) dt. \quad (25)$$

Подставляя (25) в (21) находим

$$N_{0s}(\hat{\lambda}) + N_{0n} = (P_{cp1}/P_{cp2}) \cdot N_{0n}, \quad (26)$$

где 
$$P_{cp1,2} = \frac{1}{(\Delta T/2)} \int_{\Delta T/2} u_{1,2}^2(t) dt - \quad (27)$$

средняя мощность наблюдения.

Из (26) получаем оценку  $N_{0s}(\hat{\lambda})$ , в ней исключено влияние множителя нестабильности  $(1 + \xi)^2$

$$N_{0s}(\hat{\lambda}) = (P_{cp1}/P_{cp2}) \cdot N_{0n} - N_{0n} = N_{0n} (P_{cp1}/P_{cp2} - 1). \quad (28)$$

Переходя к шумовым температурам согласно (8), оценим эффективную температуру:

$$T_s(\hat{\lambda}) = T_n(\bar{\lambda}) (P_{cp1}/P_{cp2} - 1). \quad (29)$$

Таким образом, в результате решения оптимизационной задачи оценивания СПМ  $N_{0s}(\hat{\lambda})$ , а также связанных с ней параметров  $\hat{\lambda}$  и  $T_s(\hat{\lambda})$  – шумовой температуры установлено, что операция деления оценок средних мощностей шумовых сигналов, наблюдаемых в смежных периодах времени равной длительности, составляет основу оптимального алгоритма их обработки. Следует отметить, что ввиду малой длительности интервалов  $\Delta T/2$ , на которых оцениваются средние мощности (27), алгоритмы (28), (29) следует считать первичными, а полученные оценки дополнительно усреднять.

**Предельные погрешности оценок эффективной шумовой температуры и множителя нестабильности.** В соответствии с теорией Рао-Крамера предельная погрешность оценки искомого параметра случайного процесса равна величине обратной среднему значению второй производной от логарифма функционала правдоподобия, найденному при истинном или оценочном значении этого параметра

$$\sigma_{\lambda}^2 = \left\{ - \left\langle \frac{\partial^2 \ln P[u(t)|\lambda]}{\partial^2 \lambda} \right\rangle \Big|_{\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_n \approx \hat{\lambda}} \right\}^{-1} = \left\{ - \frac{1}{2} \int \int \left[ \frac{\partial}{\partial \lambda} R(t_1, t_2, \lambda) \right] \left[ \frac{\partial}{\partial \lambda} W(t_1, t_2, \lambda) \right] dt_1 dt_2 \right\}^{-1},$$

где  $T$  – интервал наблюдения случайного процесса  $u(t)$ .

При наблюдении процесса  $u_1(t)$  на интервале  $t \in (T_1, T_2)$ ,  $T_2 - T_1 = \Delta T/2$  для функционала прав-

доподобия (9)  $P[u_1(t)|\lambda]$  и оптимального алгоритма (23) оценки  $N_{0s}$

$$\sigma_{N_{0s}}^2 = \left\{ - \frac{1}{2} \int_{T_1}^{T_2} \int_{T_1}^{T_2} \left[ \frac{\partial}{\partial N_{0s}} R_{u_1}(t_1, t_2, \lambda) \right] \times \left[ \frac{\partial}{\partial N_{0s}} W_{u_1}(t_1, t_2, \lambda) \right] dt_1 dt_2 \right\}^{-1} = \frac{2(\hat{N}_{0s} + N_{0n})^2}{(\Delta T/2) \delta(0)}.$$

Предельная флуктуационная чувствительность радиометра на интервале наблюдения  $(\Delta T/2)$  равна

$$\sigma_{N_{0s}} = \sqrt{\frac{2(\hat{N}_{0s} + N_{0n})^2}{(\Delta T/2) \delta(0)}} = \frac{\sqrt{2}(\hat{N}_{0s} + N_{0n})}{\sqrt{(\Delta T/2) \lim_{\Delta F \rightarrow \infty} 2\Delta F}}.$$

Для процессов с конечной полосой

$$\sigma_{N_{0s}} = \sqrt{2}(\hat{N}_{0s} + N_{0n}) / \sqrt{\Delta T \Delta F}.$$

При выводе этой формулы полагалось, что СПМ  $N_{0n}$ , определяемая в процессе калибровки радиометра является известной. Множитель нестабильности  $(1 + \xi)^2$  определяется в результате решения второй оптимизационной задачи (18) на соседнем интервале наблюдения  $t \in (T_2, T_3)$ ,  $T_3 - T_2 = \Delta T/2$  и также полагается известным. Поэтому, как и коэффициент усиления  $K_0$ , так и множитель  $(1 + \xi)^2$  здесь отсутствуют. При наблюдении процесса  $u_2(t)$  на интервале  $t \in (T_2, T_3)$  для функционала правдоподобия (10)  $P[u_2(t)|\xi]$  и оптимального алгоритма (25) дисперсия оценки  $\xi$

$$\sigma_{\xi}^2 = \left\{ - \frac{1}{2} \int_{T_2}^{T_3} \int_{T_2}^{T_3} \left[ \frac{\partial}{\partial \xi} R_{u_2}(t_1, t_2, \lambda) \right] \times \left[ \frac{\partial}{\partial \xi} W_{u_2}(t_1, t_2, \lambda) \right] dt_1 dt_2 \right\}^{-1} = (1 + \hat{\xi})^2 / (2(\Delta T/2) \delta(0)),$$

а потенциальная флуктуационная чувствительность к нестабильности

$$\sigma_{\xi} = \frac{1 + \hat{\xi}}{\sqrt{2(\Delta T/2) \delta(0)}} = (1 + \hat{\xi}) / \sqrt{2\Delta T \lim_{\Delta F \rightarrow \infty} \Delta F}.$$

Для процессов с конечной рабочей полосой частот соответственно получим

$$\sigma_{\xi}^2 = (1 + \hat{\xi})^2 / (2\Delta T \Delta F), \quad \sigma_{\xi} = (1 + \hat{\xi}) / \sqrt{2\Delta T \Delta F},$$

т.е. был получен алгоритм, нивелирующий нестабильность коэффициента усиления разной природы происхождения в додетекторной части радиометра.

## Выводы

Решена задача раздельной оптимизации оценок СПМ (эффективной шумовой температуры) собственного излучения исследуемого объекта и множителя нестабильности коэффициента усиления усилителя

во входном (додетекторном) тракте приемника. Доказано, что основой синтезированного алгоритма первичной обработки шумовых процессов является операция деления оценок средних мощностей наблюдаемых процессов на смежных интервалах времени равной длительности. Определены предельные погрешности оценок шумовой температуры исследуемого источника и нестабильности коэффициента усиления.

## Список литературы

1. Alimenti F. A space-based 90 GHz radiometer for the observation of solar flares: Feasibility study / F. Alimenti et al. // 2009 European Microwave Conference (EuMC). – Rome, 2009. – P. 982-985. doi: 10.23919/EUMC.2009.5296238.
2. Peng J. Soil Moisture Active/Passive L-Band Microwave Radiometer Postlaunch Calibration / J. Peng et al. // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. – Sept. 2017. – Vol. 55(9). – P. 5339-5354. doi: 10.1109/TGRS.2017.2705342.
3. Microwave Scanner-Sounder MTVZA-GY on New Russian Meteorological Satellite Meteor-M No. 2: Modeling, Calibration, and Measurements / L.M. Mitnik, V.P. Kuleshov, M.L. Mitnik, A.M. Streltsov, G.M. Chernyavsky and I.V. Cherny // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – July 2017. – Vol. 10(7). – P. 3036-3045. doi: 10.1109/JSTARS.2017.2695224.
4. Microwave Radar and Radiometric Remote Sensing / F.T. Ulaby and D.G. Long // Michigan, University of Michigan Press. Ann Arbor, 2014. – P. 262-293.
5. Moon N.W. and Kim Y.H. Temperature Drift Compensation Using Multiple Linear Regression for a W-Band Total Power Radiometer / N.W. Moon and Y.H. Kim // IEEE Sensors Journal. 2015. – Vol. 15(8). – P. 4612-4620.
6. Филатов А.В. Новые принципы построения высокочувствительного микроволнового радиометра нулевого

типа с многоканальным приемником / А.В. Филатов // Физические основы приборостроения, 2017. – №6, 2(24). – С. 67-75. doi: 10.25210/jfop-1702-067075.

7. Kemppainen S. Thermal stabilized front-end PCB with active cold calibration load for L-band radiometer / S. Kemppainen et al. // 2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. – Barcelona, 2017. – P. 4433-4436. doi: 10.1109/IGARSS.2007.4423838.
8. Dicke R.H. The measurement of thermal radiation at microwave frequencies / R.H. Dicke // Rev. Sci. Instrum., July 1946. – Vol. 17(7). – P. 268-275.
9. Pavlikov V.V. The New Type of Chopper Radiometer / V. V. Pavlikov, A. D. Sobkolov // Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals. (UWBUSIS 2016) : proc. 8<sup>th</sup> Intern. conf., 5-11 Sept., 2016, Odesa, Ukraine. – Kharkov, 2016. – P. 205–208. doi: 10.1109/UWBUSIS.2016.7724189
10. Statistical Synthesis of Chopper Radiometric Systems / V.K. Volosyuk, V.F. Kravchenko, V.V. Pavlikov, V.I. Pustovoit // Doklady Physics. – 2013. – Vol. 58, № 1. – P. 29–32.
11. Pavlikov V.V. Radiometer with signal energies ratio / V.V. Pavlikov, S.S. Zhyla, A.V. Odokienko, M.O. Antonov // IEEE Radar Methods and Systems Workshop. (RMSW 2016) : proc. Intern. conf., 27-28 Sept., 2016, Kyiv, Ukraine. – Kyiv. – P. 99–102. doi: 10.1109/RMSW.2016.7778560
12. Development of Digital Part of Ratio-Type Radiometer / V.V. Pavlikov, A.V. Odokiyenko, A.V. Sobkolov, K.N. Nezhalskaya, M.O. Antonov // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics. CADSM'2017: proc. 14th Int. conf., 2017. – P. 122-124. doi: 10.1109/CADSM.2017.7916100.

Надійшла до редколегії 18.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## ОБГРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОСТІ ОПЕРАЦІЇ РОЗПОДІЛУ ОЦІНОК ШУМОВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ НА СУМІЖНИХ ІНТЕРВАЛАХ СПОСТЕРЕЖЕННЯ У РАДІОМЕТРІ ІЗ НЕСТАБІЛЬНИМ КОЕФІЦІЄНТОМ ПОСИЛЕННЯ

О.В. Одокієнко

У статті обґрунтована оптимальність операції розподілу оцінок шумових температур на суміжних інтервалах спостереження у радіометрі з нестабільним коефіцієнтом посилення. Завдання роздільної оптимізації статистичних оцінок шумових температур випадкових процесів, які спостерігаються на двох суміжних інтервалах часу рівної тривалості при відкритому і закритому вході модуляційного радіометра із нестабільним коефіцієнтом посилення, вирішена методом максимальної правдоподібності. Показано, що однією з істотних операцій синтезованого алгоритму первинної обробки сигналів є операція розподілу оцінок їх середніх потужностей, виміряних на сусідніх часових інтервалах. Виведено аналітичні вирази для граничних похибок оцінок шумової температури досліджуваного джерела і нестабільності коефіцієнта посилення. Ці похибки залежать від часу спостереження, ширини смуги робочих частот за входом, відношення сигнал / шум і нестабільності коефіцієнта посилення. Отриманий алгоритм обробки сигналів доцільно реалізовувати в радіометрах, до складу додетекторних трактів яких входять недорогі низькостабільні підсилювачі.

**Ключові слова:** модуляційний радіометр, коефіцієнт посилення, метод максимальної правдоподібності, обробка сигналів, оцінка шумової температури.

## JUSTIFICATION FOR OPTIMIZATION OF OPERATION OF NOISE TEMPERATURE ESTIMATES DIVISION AT THE ADJACENT OBSERVATION INTERVALS IN A RADIOMETER WITH AN UNSTABLE AMPLIFICATION FACTOR

O.V. Odokienko

In the article an optimization of operation of noise temperature estimates division at the adjacent observation intervals in a radiometer with an unstable amplification factor was justified. The separate optimization problem of statistical estimates of random processes noise temperatures observed on two contiguous time intervals of equal length with opened and closed input of an unstable amplification factor modulation radiometer was solved using the method of Maximum Likelihood Estimations. It was shown, that one of the significant operations of the synthesized primary signal processing algorithm is the division operation of the signals average powers estimates, changed on the adjacent time intervals. The analytical margin of errors expressions for noise temperature estimates of investigated source and amplification factor instability were derived. These margins of errors are dependent on observation time, width of input working frequencies, signal to noise ratio and amplification factor instability. The obtained signal processing algorithm is reasonable to use in radiometers, pre-detector paths of which contain rather cheap low-stable amplifiers.

**Keywords:** modulation radiometer, amplifying factor, noise temperature estimate, method of Maximum Likelihood Estimations, signal processing, noise temperature estimation.

## SYNTHESIS OF ADAPTIVE ALGORITHM OF COMPENSATION OF NONLINEAR DISTORTIONS OF RADIO DEVICES

*As part of the article the scientifically grounded synthesis of the algorithm of adaptive compensation of nonlinear distortion (ACNLD) of radio devices based on the use of the mathematical apparatus of a theory of nonlinear analysis (Voltaire series). Actual speed and accuracy of adaptation were determined by choosing the optimal value of transmission coefficient. Some actual causes of limitation of dynamic range and appearance of internal noises of radio equipment were established. The estimation of ACNLD noise influence on its efficiency was carried out, and also the influence of signal component of the reference input ACNLD on radio quality indicators.*

**Keywords:** radio device, adaptive compensator, non-linear distortion, internal noises, Voltaire series, dynamic characteristic.

### Introduction

In order to increase the quality indicators of on-board radio local systems (OBRLS) of remote sensing of the Earth (RSE), on the basis of substantiation and application of adaptive methods of extending the linear dynamic range of their radio receiving devices (RRD), it is necessary to synthesize an adaptive method of inhibition of nonlinear distortions in radio devices (RD).

For this purpose, it is advisable to bring the conditions of this problem in line with the classical statement of the problem of adaptive compensation of interference in linear RRD [1, 2]. Well-known linear adaptive compensators can be characterized by the presence of main and reference inputs that receive a mixture of useful signal with noise and interference respectively [1]. At the same time, the obstacle in the reference input is correlated only with the signal of interference from the main input and statistically non-interconnected (or less correlated) with a useful signal.

**The purpose of the article:** is the development of scientifically grounded device of adaptive compensation of nonlinear distortions of RD.

### The main part

For the utilization of mathematic apparatus of the theory of adaptive systems [1, 3] with the aim of the formation of a task of adaptive compensation of nonlinear distortions, conditionally imagine an exit and input of one-dimensional RD according to the quality of the main and reference inputs of non-linear adaptive compensator. Mentioned inputs we will further call adaptive compensators of non-linear distortions (ACNLD) [1].

To study the physical opportunity of implementation and development of a scientifically grounded design of the ACNLD in relation to the problem of extending the linear dynamic range of RRD OBRLS, we will conduct an analysis of some qualitative characteristics of ACNLD

constructed on the basis of real "noisy" elements with imperfect parameters.

Dynamic properties of adaptive compensators can be characterized by a long time adaptation (rearrangement) of adaptive filters  $\tau$ . In accordance with [4] it can be shown that usually rearrangement takes place under the exponential law. The time of adaptation of the ACNLD is determined by the following expression

$$\tau_{ACNLD} = \frac{k_{\tau} m}{4\mu P_n}, \quad (1)$$

where  $P_n$  – power compensation of nonlinear distortion;  $k_{\tau}$  – coefficient of proportionality.

Another major characteristic of the quality of adaptive compensators is the accuracy of adaptation, which is limited by gradient estimation errors  $\omega_1$ , as well as compensation errors due to the delay of the adaptation filter rebuild  $\omega_2$ . For ACNLDs, these errors can be determined, respectively, with formulas mentioned below [5]

$$\omega_1 = k_{\omega_1} \mu P_n, \quad (2)$$

$$\omega_2 = \frac{1}{\mu} \frac{k_{\omega_2} \sigma_1^2}{4\sigma_{\min}}, \quad (3)$$

where  $\sigma_H$ ,  $\sigma_{\min}$  – respectively, medium quadratic error (MQE) of nonlinear distortions and the minimum MQE of adaptation, which is realized in the case of optimal construction of adaptive filters;

$k_{\omega_1}$ ,  $k_{\omega_2}$  – coefficients of proportionality.

Consequently, the speed and precision of the ACNLD adaptation that are necessary for a particular task can be ensured by the appropriate choice of  $\mu$  transmission coefficient of circle feedback (F) [6]. However, expressions (2) and (3) impose some contradictory requirements to the  $\mu$  value. Therefore, the highest quality of adaptation (that is, a minimal total

error  $\omega_{\Sigma} = \omega_1 + \omega_2 = \min$ ) can be provided by choosing the optimal value of  $\mu$ , which can be found by the way of equating the right-hand sides of expressions (2) and (3) and can be determined by the formula [6]

$$\mu_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{k_{\omega 2} \sigma_n^2}{4k_{\omega 1} \sigma_{\min} P_n}}.$$

Actually, the achievable values of time of adaptation of  $\tau$  of ACNLD are usually situated in the range from units and tens of ns to units of ms, which is usually sufficient for OBRLSs [6]. Therefore, in the process of developing the ACNLD, the main attention must be paid to the provision of specified requirements for the accuracy of ACNLD [6].

In well-known works devoted to the study of the influence of nonideal elements of adaptive compensators on the quality of their work, they were mainly taken into account only by errors in the implementation of the ratio of mathematical operations [7]. It is shown, in particular, that integration errors have a significant impact. Concerning ACNLD, the error of integration in the  $k$  channel leads to a compensation error, which is determined by the following formula [6, 7]:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} W_k(t) = H_k + \Delta H_k,$$

where  $\Delta H_k$  – the error is proportional to the error of integration.

Consequently, the requirements for the accuracy of the mathematical operations of the ACNLD elements must be set based on the maximum permissible, for this task, error of compensation of nonlinear distortions in the RRD OBRLS.

In the process of studying the effectiveness of adaptive compensators, as a rule, the effect of only external non-correlated influences is not the ideal optimal adaptive filter (Wiener filter) [8]. However, all real radio elements are "noisy", which causes the relevance of the analysis of the influence of internal noise ACNLD on its effectiveness [8], then we introduce the following notation [6]:

$$v_{\text{os}_{\text{inp}}} = \frac{P_{N0}}{P_n}; \quad v_{\text{op}_{\text{inp}}} = \frac{P_{A0}}{P_n},$$

where  $P_{N0}$  – power of internal noises of the RD at its output (on the "main" input of the ACNLD);

$P_{A0}$  – the power of the internal noise of the ACNLD itself, listed on its input (on the main input of the ACNLD).

As an indicator of the efficiency of the real ACNLD, that is "noisy", we will choose the value

$$\Theta = \frac{P_S / P'_n}{P_S / P_n} \quad (4)$$

where  $P_S$  – power of signal component of the RD's output signal;  $P_n$ ,  $P'_n$  – the power of nonlinear distortions on the "main" input and output of the ACNLD, which is compensated, respectively.

Since internal noises  $P_S$  and  $P_{A0}$  are not correlated with the input and output signals of the ACNLD, then the expression for its efficiency coincides with the formula of the efficiency of linear adaptive compensators, subject to the influence on their inputs of external uncorrelated signals [6, 8], that is,

$$\Theta = \frac{\left[ v_{\text{os}_{\text{inp}}} + 1 \right] \left[ v_{\text{op}_{\text{inp}}} + 1 \right]}{v_{\text{os}_{\text{inp}}} + v_{\text{os}_{\text{inp}}} v_{\text{op}_{\text{inp}}} + v_{\text{os}_{\text{inp}}}}. \quad (5)$$

Expression (5) allows evaluating the effect of internal noise of the ACNLD on its efficiency numerically. It is seen that the internal noise of the ACNLD does not lead to a decrease in the quality of the functioning of the RD [3]. In cases where the internal noise of the ACNLD exceeds to the level of non-linear suppressive distortions, the value  $\Theta = 1$  that is physically equivalent to the automatic shutdown of the ACNLD and, accordingly, the autonomous mode of the RD.

It should be noted that taking into account the unessentialnesses of parameters of elements of adaptive compensators, in the general case are not limited to an analysis of the influence of the errors of the execution of functional mathematical operations. Significant influence on the qualitative characteristics of adaptive compensators performs inevitable nonlinear properties of real elements [8]. This is of particular importance for ACNLD, which are directly intended to suppress nonlinear distortions in the RD. Given the insufficient degree of study of these issues in the well-known literature, it is necessary to analyze the influence of nonlinearities of the AC of real elements of the ACNLD on qualitative characteristics. To do this, we represent the output signals of real devices, having reduced to the  $k$ -th degree, the amplifier of the feedback circle and the multipliers of adaptive filters in the form of Voltaire's series [9].

$$(x_k)^+ = \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_k x^k + \dots, \quad (6)$$

$$(\mu \varepsilon)^+ = \mu_1 \varepsilon + \mu_2 \varepsilon^2 + \dots, \quad (7)$$

$$(Z_k)^+ = a_{10} (x_k)^+ + a_{10} (\mu \varepsilon)^+ + a_{20} \times \times \left[ (x_k)^+ \right]^2 + a_{11} (x_k)^+ (\mu \varepsilon)^+ + a_{02} \left[ (\mu \varepsilon)^+ \right]^2 + \dots \quad (8)$$

$$(Z_k)^+ = = b_{10} \left[ \frac{1}{S} (y_1)^+ \right] + b_{01} (x_k)^+ + b_{20} \left[ \frac{1}{S} (y_1)^+ \right]^2 + \quad (9)$$

$$+ b_{11} \left[ \frac{1}{S} (y_1)^+ \right] (x_k)^+ + b_{02} \left[ (x_k)^+ \right]^2 + \dots$$

where  $(x_k)^+, (\mu\varepsilon)^+, (y_1)^+, (y_2)^+, (Z_k)^+$  – output signals of real k-th power reduction devices, feedback - amplifier, k-th adaptive first multiplier, second k-th adaptive filter multiplier (k adaptive filter), respectively;

$\beta_i, \mu_j, a_{ij}, b_{ij}$  – NLTF of specified elements of the ACNLD, respectively.

Nonlinearities of the AC of the amplifier of the circle of feedback lead to a limitation of the upper limit of the dynamic range at the exit of the ACNLD  $\varepsilon_{\max}$  [9]. The permissible level of nonlinear distortion in the amplifier of the circle of feedback can be determined from the given upper level of the dynamic range at the output of the ACNLD, for the narrow band amplifier we have, for the broadband amplifier

$$|\mu_3| \leq \frac{1}{|\varepsilon_{\max z}|^2};$$

for a broadband amplifier

$$\left. \begin{aligned} |\mu_2| &\leq \frac{1}{k_\mu |\varepsilon_{\max z}|} \\ |\mu_3| &\leq \frac{1}{(1-k_\mu) |\varepsilon_{\max z}|^2} \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

where  $k_\mu$  – the coefficient, which determines the correlation between the admissible levels of nonlinear distortions of the second and third orders ( $0 \leq k_\mu \leq 1$ ) and depends on the width of the bandwidth of the amplifier of the circle of feedback. The nonlinear properties of the device in the k-th degree lead to a distortion of the output k-th adaptive filter [6]. It follows from (10) that

$$\begin{aligned} (W_k(t))^+ &= W_k(t) + \Delta W_k(t) \cong \\ &\cong W_k(t) + \sum_{i=1, i \neq k}^m [\beta_i W_k(t)], \end{aligned} \quad (11)$$

where  $[\beta_i W_k(\cdot)]$  – НПФ t -th degree.

It's necessary to mention that a member  $\beta_k + 2W_k(\cdot)$  defines the limits of the dynamic range of the ACNLD at its entrance; constituent  $\beta_i W_k(\cdot)$  causes distortion of the output signal of the j-th (adjacent) channel of the ACNLD; the component  $\beta_n W_k(\cdot)$  leads to distortion of the useful component of the output signal of the RD, components  $\beta_i W_k(\cdot)$  ( $i \neq k, k+2, n, j$ ) increase the internal noise of the ACNLD [5].

Additional noise level can be found as [8]

$$\Delta N_A \cong \left| \sum_{i=1, i \neq k}^m \beta_{l_i} W_1(t) X_i \right|, \quad (12)$$

where l – is a number of a channel ACNLD;

$\beta_{l_i}$  – НПФ l-th degree in the mechanism of reduction in the l-th degree of the l channel ACNLD.

An error introduced in the k-th channel of the ACNLD at the expense of its other channels is defined as following [10]

$$\Delta W'_k(t) \cong \left| \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq k, n}}^m \beta_{l_k} W_l(t) \right|. \quad (13)$$

It also follows from the expression that the upper limit of its range at the input of the ACNLD  $X_{\max}$  (according to non-linear distortions of the k-order), taking into account the influence of all its channels, depends on the  $\Delta W''_k(t)$ , which is determined from the ratio of this form

$$\Delta W''_k(t) \cong \left| \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq n}}^m \beta_{l_{k+2}} W_l(t) \right|. \quad (14)$$

You can determine the requirements for the nonlinearity (k+2)-th order of the reduction devices in the degree

$$\left| \sum_{l=1, l \neq n}^m \beta_{l_{k+2}} \right| \leq \left| \frac{H_k(t)}{H_n(t)} \right|^2 \frac{1}{|X_{\max}|^{|k-n|}}, \quad (15)$$

To evaluate the distortion of the signal component of the output signal of the RD, we define the signal / noise ratio at the ACNLD  $\rho_{o_{inp}}$  reference input as follows

$$\rho_{o_{inp}} = \left| \frac{\sum_{l=1, l \neq n}^m \beta_{l_n} W_l(t) X_l}{\sum_{l=1, l \neq n}^m \beta_{l_1} W_l(t) X_l} \right|, \quad (16)$$

Then the signal / noise ratio at the output is equal

$$\rho_{out} = \frac{1}{\rho_{o_{inp}}}. \quad (17)$$

Accordingly, the distortion of the signal component of the output signal of the RD at the output of the ACNLD can be defined as

$$\varepsilon = \frac{\rho_{o_{inp}}}{\rho_{os_{inp}}},$$

where  $\rho_{os_{inp}}$  – signal / noise ratio at the output of the RD, which is determined in this case by the formula

$$\rho_{os_{inp}} = \left| \frac{H_n X_n}{\sum_{k=1, k \neq n}^m (H_k X_k)} \right|. \quad (18)$$

The signal component in the reference input of the ACNLD also causes a change in the nonlinear distortion spectrum that is compensated

$$\{S_Y\}_{\text{outp}} = \{S_Y\}_{\text{os;inp}} \rho_{\text{o;inp}} \rho_{\text{o;inp}}, \quad (19)$$

where  $\{S_Y\}_{\text{outp}}, \{S_Y\}_{\text{os;inp}}$  – the spectrum of nonlinear distortions, which are compensated for the output of the ACNLD and the output of the RD, respectively. Formulas (17) and (19) allow numerically estimate the effect of the signal component in the ACNLD reference input on its qualitative characteristics. The requirements for the level of non-linear distortions of the n-th order can be determined from the maximum allowable value  $\rho_{\text{o;inp}d}$ , then

$$|\beta_n| \leq \rho_{\text{o;inp}d}.$$

It can be shown that the requirements for the level of nonlinear distortion of the multiplier of adaptive filters are substantially lower than the corresponding requirements for the nonlinearities of the AC of the reduction devices in degree [11]. Given the fact that it is most convenient to implement step-by-step devices on the basis of a multiplier [12], there are all grounds for ensuring that the requirements for the level of nonlinear distortions of all multipliers are the same and meet the requirements that are presented to the reduction devices in the degree.

The results obtained above can be used not only for the ACNLD, but also for the analysis of qualitative characteristics of a wide class of adaptive and self-adjusting systems, taking into account internal noise and nonlinear properties of their elements [11].

Regarding the tasks, we will use the results of the study of the characteristics of the accuracy and dynamic characteristics of the real ACNLD for the development of scientifically based methodology for their design in order to expand the linear dynamic range RRD OBRLS.

Let the linear dynamic range of RP be equal

$$\begin{aligned} D_1 &= D_{\text{linp}} = \\ &= 20 \lg \left| \frac{X'_{\text{max}}}{X'_{\text{min}}} \right| \cong D_{\text{lootp}} = 20 \lg \left| \frac{Y'_{\text{max}}}{Y'_{\text{min}}} \right|, \end{aligned} \quad (20)$$

where  $|X'_{\text{min}}|, |Y'_{\text{min}}| (|X'_{\text{max}}|, |Y'_{\text{max}}|)$  – lower (upper) limit of the dynamic range of the RD to the input and output, respectively.

Assume that you need to expand the dynamic range of the RD to a value  $D > D_1$ , where

$$\begin{aligned} D &= D_{\text{inp}} = 20 \lg \left| \frac{X_{\text{max}}}{X'_{\text{min}}} \right| \cong \\ &\cong D_{\text{outp}} = 20 \lg \left| \frac{Y_{\text{max}}}{Y'_{\text{min}}} \right|, \end{aligned} \quad (21)$$

$$\left| \frac{X_{\text{max}}}{X'_{\text{min}}} \right| \cong \left| \frac{Y_{\text{max}}}{Y'_{\text{min}}} \right| > 1. \quad (22)$$

Designing the ACNLD is advisable to start with the choice of an adder, the dynamic range  $D_{\Sigma}$  of which should be at least  $D$ , that is  $D_{\Sigma} \geq D$ , and, moreover

$$|\varepsilon_{\Sigma \text{ min}}| \leq |Y'_{\text{min}}|; |\varepsilon_{\Sigma \text{ max}}| \geq |Y_{\text{max}}|.$$

where  $|\varepsilon_{\Sigma \text{ min}}| (|\varepsilon_{\Sigma \text{ max}}|)$  – lower (upper) limit of the adder band (subtraction device).

Determine the requirements for the accurate integrity of  $\Delta_{\text{int}}$ . Since non-linear distortions of the k-th order are practically and appropriately suppressed only with the accuracy to nonlinear distortions of higher (first-order (k+2)-th) orders, then for the cascades of the RRD of the OBRLS [5, 6]:

$$\Delta_{\text{int} 1} \leq \Delta H_3 z \leq |H_5|,$$

and for coherent detectors and frequency converters [14]

$$\Delta_{\text{int} 2} \leq \Delta H_{31} z \leq |H_{51}|.$$

Let's find the requirements for the parameters of the assembly devices in the degree and multiplier of the ACNLD. Given the one-channel ACNLD, from the expressions (21) and (26), one can determine the permissible nonlinearity factor of the multiplier in case of amplifying cascades of the RRD of the OBRLS [13]

$$|\beta_1| = |a_{ij}| = |b_{ij}| \leq \left| \frac{H_3}{H_1} \right|^2 \frac{1}{|X_{\text{max}}|^2},$$

$\rho_{\text{o;inp}d}$  as well as for coherent detectors and frequency converters [5, 7]

$$|\beta_1| = |a_{ij}| = |b_{ij}| \leq \left| \frac{H_{31}}{H_{11}} \right|^2 \frac{1}{|X_{\text{max}}|^2}; \rho_{\text{o;inp}d}, \quad (23)$$

where  $l = i + j \neq 2$ ;  $(ij) \neq (11)$ ;  $X_o$  – amplitude of the reference signal (the signal of the heterodyne).

The requirements for the admissible nonlinearity of the AC amplifier of feedback range can be given from the required value

$$|Y_{\text{max}}| \leq |\varepsilon_{\text{max} \text{ зад}}| \cong |\varepsilon_{\Sigma \text{ max}}|.$$

In this case, the transfer coefficient of the amplifier of the feedback circle must be found from the required accuracy and speed of adaptation for the given task [4].

In some cases, the optimal value  $u_{\text{opt}} \equiv \mu_{1\text{opt}}$  lies in the range from 0.1 to 10, and for cascades  $\mu_{1\text{opt}} \leq 1$ , and for final and transformation cascades  $\mu_{1\text{opt}} \geq 1$  [6, 9].

Consequently, we get an expression for Voltaire's kernels in operator form

$$H_1(p) = \frac{1}{p + U_C K(p)}. \quad (24)$$

As can be seen from formula (24), internal noise must not exceed the level of compensated nonlinear distortion [7]. In order not to render unreasonably overestimated requirements to the fluctuation characteristics of the elements of the ACNLD, it is necessary to ensure that the conditions [4, 6]

$$|X''_{\min}| \leq |X'_{\max}|,$$

where  $|X''_{\min}|$  - the lower limit of dynamic range of the ACNLD. The required dynamic range of the ACNLD  $D_2$  can be determined from the inequality [4, 6]  $D_2 \geq D - D_1$ . As a result, there is an important practical conclusion that, for the construction of the ACNLD, with the task of extending the linear dynamic range of the RRD OBRLS, there is no need for silent elements with ideal parameters and those that cannot be physically realized.

## Conclusions

It is established, that a synthesized adaptive method of compensation of non-linear distortions can be physically realized on the basis of distinguished radio elements. Final and authentic conclusion about the practical realization and the ability of AKHC to work, and also their real qualitative characteristics and opportunities can be made on the basis of experimental confirmation of the main results of the theoretic analysis of accuracy and dynamic characteristics of non-linear adaptive compensators.

## References

1. Radioelektronnyye sistemy: osnovy postroeniya i teoriya. / Ed. by Ya. D. Shirmana. – Moscow: ZAO MAKVIS, 1998. – P. 828.
2. Polyak B. T. Robastnyye algoritmy adaptatsii / B. T. Polyak, Ya. Z. Tsyipkin // Avtomatika i telemekhanika. – 1980. – no 10. pp. 91-97.
3. Gutkin L.S. Proektirovanie radiosistem i radioustroystv. – M.: Radio i svyaz, 1986. – P. 288.
4. Kapalin V. I. Neyrosetevoye modelirovanie sistem upravleniya / V. I. Kapalin, I. V. Vitohin, Nguen Dun Chin. // Nauchnyye vedomosti BelGU. – 2009. – #9(64), vyip.11/1. – pp. 87-92.
5. Kim D. P. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya / D. P. Kim // Tom 2. Mnogomernyye, nelineynyye, optimalnyye sistemy. – M.: FIZMATLIT, 2004. – P. 464.
6. Maas, Stephen A. Nonlinear microwave and RF circuits / Stephen A. Maas. – 2nd ed. Boston; London: Artech House. – 2003. – 582 p.
7. Nevdyayev L. M. Personalnaya sputnikovaya svyaz / L. M. Nevdyayev, A. A. Smirnov. – M.: Eko-Trendz, 1998. – P. 215.
8. Radiotekhnicheskie sistemy / Pod red. Yu. M. Kazarinova. – M.: V. shkola, 1990. – P. 496.
9. Graham S. W. Nonlinear System Modeling and analysis with Applications to Communicatio Receivers / S. W. Graham, L. Ehrman // RADC-TR-73-178, ASIA, AD766278. – Rome-New York, 1973.
10. Shetsen M. Modelirovanie nelineynykh sistem na osnove teorii Vinera / M. Shetsen // TIIEP. – 1981. – T.69, no 12, – pp. 44-62
11. Lityuk V.I. Printsipyi tsifrovoy mnogoprotsessornoy obrabotki ansambley radiosignalov / V.I. Lityuk. – M.: SOLON-PRESS, 2007. – 592 p.
12. Bogdanovich B. M. Radiopriemnyye ustroystva / B. M. Bogdanovich, N. I. Okulin. – Minsk: V. shkola, 1991. – 428 p.

Надійшла до редколегії 10.01.2018

Рецензент: д-р техн. наук, професор С. В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМУ КОМПЕНСАЦІЇ НЕЛІНІЙНИХ СПОТВОРЕНЬ РАДІОПРИСТРОЇВ

О.В. Шеффер

У рамках статті проведений науково обґрунтований синтез алгоритму адаптивної компенсації нелінійних спотворень (АКНС) радіопристроїв на основі використання математичного апарату теорії нелінійного аналізу (рядів Вольтера). Визначена реальна швидкість і точність адаптації шляхом вибору оптимального значення коефіцієнта передачі. Встановлені фактичні причини обмеження динамічного діапазону та появи внутрішніх шумів радіопристроїв. Проведена оцінка впливу шумів АКНС на ефективність її роботи, а також вплив сигнальної складової в опорному вході АКНС на показники якості радіопристроїв.

**Ключові слова:** радіопристрій, адаптивна компенсація, нелінійне спотворення, внутрішні шуми, ряди Вольтера, динамічні характеристики.

## СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА КОМПЕНСАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ РАДИОУСТРОЙСТВ

А.В. Шеффер

В рамках статьи проведен научно обоснованный синтез алгоритма адаптивной компенсации нелинейных искажений (АКНИ) радиоустройств на основе использования математического аппарата теории нелинейного анализа (рядов Вольтера). Определена реальная скорость и точность адаптации путем выбора оптимального значения коэффициента передачі. Установлены фактические причины ограничения динамического диапазона и появления внутренних шумов радиооборудования. Проведена оценка влияния шумов АКНИ на эффективность ее работы, а также влияние сигнальной составляющей в опорном входе АКНИ на показатели качества радиооборудования.

**Ключевые слова:** радиоустройство, адаптивная компенсация, нелинейное искажение, внутренние шумы, ряды Вольтера, динамические характеристики.



В.Ю. Дубницький<sup>1</sup>, А.М. Кобылин<sup>1</sup>, О.А. Кобылин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський учебно-научний інститут ГВУЗ Університета банківського дела, Харків

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

## ВЫЧИСЛЕНИЕ ЭНТРОПИИ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ, ПАРАМЕТРЫ КОТОРОЙ ЗАДАНЫ В ИНТЕРВАЛЬНОМ ВИДЕ В СИСТЕМЕ ЦЕНТР-РАДИУС

Предложена методика интервального вычисления энтропии случайной величины при замене оценок параметров распределения на их значения, определённые в интервальном виде в системе центр-радиус. Центром оценок параметров распределений принимали их значения, полученные по методу моментов. Радиусы оценок принимали равными полуширине их доверительных интервалов. Решение поставленной задачи рассмотрено для нормального распределения, логистического распределения, гамма-распределения, распределения Вейбулла, логарифмически нормального распределения, показательного распределения.

**Ключевые слова:** энтропия случайной величины, интервальные вычисления, система центр-радиус, энтропия нормального распределения, энтропия логистического распределения, энтропия гамма-распределения, энтропия распределения Вейбулла, энтропия логарифмически нормального распределения, энтропия показательного распределения.

### Введение

При вычислении энтропии непрерывной случайной величины  $X$ , заданной своей плотностью распределения  $f(x)$ , возможны два варианта постановки этой задачи. В первом случае параметры распределения функции  $f(x)$  известны заранее. Тогда энтропию определяют по условию:

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \ln f(x) dx \quad (\text{нит}). \quad (1)$$

Далее в работе принято, что при определении численного значения энтропии наименование (нит) указываться не будет.

Во втором случае непрерывная случайная величина  $X$  задана множеством  $\hat{X}$  своих выборочных значений. В этом случае определение энтропии из разряда вероятностных задач переходит в разряд статистических. Возникающие при этом погрешности вследствие замены параметров распределений их оценками и будут рассмотрены на примере специально проведенного численного эксперимента.

**Анализ литературы.** Основные числовые характеристики выборки такие, как среднее значение  $\bar{x}$  и среднеквадратическое отклонение  $s$  могут быть определены по результатам построения гистограммы для соответствующих выборочных значений. Расчет энтропии случайной величины  $X$  по её гистограмме описан в работе [1]. В том случае, когда по результатам построения гистограммы принята статистическая гипотеза о соответствии полученных выборочных наблюдений какому-либо закону рас-

пределения, то после определения его параметров получают оценку энтропии:

$$h(x) = - \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \ln f(x) dx. \quad (2)$$

В данной работе, для сохранения преемственности с работой [2], рассмотрены наиболее распространённые виды законов распределений случайных величин, используемые в прикладных задачах: нормальный закон распределения, логистический закон распределения, гамма-распределение, распределение Вейбулла, логарифмически нормальный закон распределения, показательный закон распределения. В настоящей работе принят следующий подход к решаемой задаче. По предположению принимаем, что непрерывная случайная величина  $X$  задана функцией плотности распределения вида:

$$f = f(x; \lambda, \mu); \quad (3)$$

где  $\lambda, \mu$  – параметры распределения. Оценки  $\hat{\lambda}, \hat{\mu}$  параметров распределения  $\lambda, \mu$  в свою очередь можно представить в виде функций таких статистических характеристик выборки, как среднее значение  $\bar{x}$  и среднеквадратическое отклонение  $s$ , то есть:

$$\hat{\lambda} = u(\bar{x}, s); \quad \hat{\mu} = v(\bar{x}, s). \quad (4)$$

Следовательно,

$$h(x) = - \int_{-\infty}^{\infty} \ln f(x; \hat{\lambda}, \hat{\mu}) \cdot f(x; \hat{\lambda}, \hat{\mu}) dx = w(\hat{\lambda}, \hat{\mu}) \quad (5)$$

или:

$$h(x) = w(u(\bar{x}, s), v(\bar{x}, s)) = \phi(\bar{x}, s). \quad (6)$$

В работе [2] были получены результаты, использованные в данной работе. В табл. 1 приведены необходимые сведения об использованных в работе

типах плотностей распределения. Сведения об энтропии соответствующих плотностей распределения приведены в работе [3] и показаны в табл. 2.

Таблица 1

Функции плотности распределения и оценки их параметров

Функции плотности распределения при условии: $-\infty < x < \infty$		
Тип распределения (условное обозначение)	Плотность распределения	Зависимость параметров распределения от его начальных характеристик
Нормальное распределение	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\lambda^2}\right)$	$\mu = m; \lambda = s$
Логистическое распределение	$f(x) = \frac{\exp((x-\mu)/\lambda)}{\lambda[1+\exp((x-\mu)/\lambda)]^2} = \frac{1}{4\lambda \operatorname{ch}^2((x-\mu)/(2\lambda))}$	$\mu = m; \lambda = \frac{s\sqrt{3}}{\pi} = 0,55133s$
Функции плотности распределения при условии: $0 \leq x < \infty$		
Гамма-распределение	$f(x) = (\lambda^\mu / \Gamma(\mu)) \cdot x^{\mu-1} e^{-\lambda x}, x > 0$	$\mu = (\bar{x})^2 / s^2; \lambda = m / s^2$
Распределение Вейбулла	$f(x) = (\lambda/\mu)(x/\mu)^{\lambda-1} \exp[-(x/\mu)^\lambda]$	Выражение в явном виде отсутствует
Логарифмически нормальное распределение	$f(x) = \frac{1}{\lambda x \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[\ln(x/\mu)]^2}{2\lambda^2}\right\}$	$\mu = \ln\left(\bar{x} / \sqrt{1+(s/\bar{x})^2}\right);$ $\lambda = \sqrt{\ln\left(1+(s/\bar{x})^2\right)}$
Показательное распределение	$f(x) = \lambda \exp(-\lambda x)$	$\lambda = 1 / \bar{x}$

Таблица 2

Энтропия случайной величины как функция параметров её распределения (столбец 2) и числовых характеристик выборки (столбец 3)

Вид функции плотности распределения	Функция $h(x) = \omega(\lambda, \mu)$	Функция $h = \phi(\bar{x}, s)$ .
Нормальное распределение	$h(x) = \ln(2\pi e \lambda^2) / 2$	$h(x) = \ln(2\pi e s^2) / 2$
Логистическое распределение	$h(x) = \ln(\lambda e^2)$	$h(x) = \ln(5,1910 s^2) / 2$
Гамма-распределение	$h(x) = \ln[\Gamma(\mu)] - \ln \lambda + \mu + (1-\mu)\Psi(\mu)$	$h(x) = \ln\left[\Gamma\left(\frac{\bar{x}^2}{s^2}\right) - \ln \frac{m}{s^2} + \frac{\bar{x}^2}{s^2} + \left(1 - \frac{\bar{x}^2}{s^2}\right) + \Psi\left(\frac{\bar{x}^2}{s^2}\right)\right]$
Распределение Вейбулла	$h(x) = \ln(\mu/\lambda) + C \cdot (\lambda-1)/\lambda + 1$	Выражение в явном виде отсутствует
Логарифмически нормальное распределение	$h(x) = \ln(2\pi e \lambda^2 \mu^2)$	$h(x) = \ln\left(2\pi e \ln\left(1+(s/\bar{x})^2\right) \ln^2\left(\bar{x} / \sqrt{1+(s/\bar{x})^2}\right)\right)$
Показательное распределение	$h(x) = \ln(e/\lambda)$	$h(x) = \ln(\bar{x}e)$

В табл. 2 и далее принято, что  $\Gamma(\mu)$  – гамма-функция аргумента  $\mu$ ,  $\Psi(\mu)$  – дигамма-функция аргумента  $\mu$ , [4], определяемая по условию:

$$\Psi(\mu) = \frac{d}{d\mu} \ln \Gamma(\mu) = \frac{\Gamma'(\mu)}{\Gamma(\mu)}; \quad (7)$$

C- постоянная Эйлера, C=0,5772.

Так как энтропия случайной величины есть величина вычисляемая, но не измеряемая, то для корректного определения её численного значения необходимо знание относительной погрешности, возникающей в процессе вычислений. Для этого в работе [2] использованы модели определения погрешности косвенных измерений и определения относительной погрешности. Анализ полученных в этой работе результатов позволил сделать вывод о том, что кор-

ректное применение этих методов требует неоправданно больших и подробных исследований в области математической статистики. Поэтому было решено использовать для этой цели интервальные вычисления и разработанные авторами специализированные программные калькуляторы [5, 6].

**Постановка задачи.** Предложить методику интервального вычисления энтропии случайной величины при замене оценок параметров распределения на их значения, определённые в интервальном виде в системе центр-радиус.

### Полученные результаты

Численный эксперимент по получению интервальной оценки энтропии случайной величины, заданной плотностью своего распределения, состоял

из нескольких этапов. На первом этапе были получены исходные данные. Для этого были использованы последовательности псевдослучайных чисел, распределённых по нормальному закону, логистическому закону распределения, гамма-распределению, распределению Вейбулла, логарифмически нормальному закону распределения и показательному закону распределения. Псевдослучайные числа получены программной системой STATGRAPHICS XV. I. Объём каждой выборки  $n = 200$ . При этом было принято в качестве начального условия то, что все псевдослучайные выборки, предназначенные для последующего анализа, имели среднее значение  $\bar{x} = 200$  и среднеквадратическое отклонение  $s = 40$ .

Все представленные в табл. 2 функции энтропии собраны в две группы. В первую группу вошли однопараметрические функции энтропии, то есть энтропии соответствующие нормальному, логарифмически нормальному и показательному распределению. Во вторую группу вошли двухпараметрические функции энтропии, то есть энтропии соответствующие гамма-распределению, распределению Вейбулла и логарифмически нормальному закону распределения. Значения числовых характеристик и оценок параметров законов распределения для полученных выборок приведены в табл. 3 (столбец ЧХП – числовые характеристики выборок и параметры законов распределения).

Таблица 3

Числовые характеристики выборок и параметры законов распределения

ЧХП	Однопараметрическая функция энтропии			Двухпараметрическая функция энтропии		
	Типы законов распределения					
	Нормальный	Логистический	Показательный	Логарифмически нормальный	Гамма-распределение	Распределение Вейбулла
$\bar{x}$	197,5519	197,4389	210,1682	198,73214	198,827	203,891
$s$	39,1722	44,4990	217,6709	39,54030	42,1772	40,7029
$\hat{\lambda}$	197,5519	197,4389	$\hat{\lambda}(\bar{x}) = 0,00475$ ; $\hat{\lambda}(s) = 0,00459$	0,20032	0,11768	5,82824
$\hat{\mu}$	39,1722	21,5956	-	5,27222	22,22256	215,93098

Следует обратить внимание на численные значений оценки  $\hat{\lambda}$  параметра  $\lambda$ , входящего в показательное распределение. Из свойств показательного распределения, указанных в работе [8], известно:

$$\lambda = 1/m = 1/s. \tag{8}$$

Отсюда следует, что  $m = s$ . В то же время использование выборочных данных и, как следствие, получение оценок этих величин приводит к нарушению равенства (8) и получению различных численных значений параметра  $\lambda$ . Поэтому в табл. 3 приведены значения оценки  $\hat{\lambda}$  параметра  $\lambda$  как функции аргументов  $\bar{x}$  и  $s$ . Эта особенность работы датчиков псевдослучайных чисел отмечена в работе [9].

В данной работе использованы интервальные вычисления в системе центр – радиус, сведения о которых приведены в работах [5, 6]. Центром интервала принимали численные значения соответствующих параметров распределения, полученные по методу моментов и оценённые по модельным выборкам. Выражения для получения их численных значений приведены в табл. 1. Радиус интервала принимали равным полуширине доверительного интервала оцениваемого параметра.

Используя условия (2), (3), (4), (6) представим выборочную энтропию в виде

$$h(x) = - \int_{-\infty}^{\infty} \ln f(x; u(\bar{x}, s), v(\bar{x}, s)) f(x; u(\bar{x}, s), v = \phi(\bar{x}, s)). \tag{9}$$

Доверительные интервалы для величин  $\bar{x}$  и  $s$  определяли по общепринятым методикам в том виде, в котором они изложены в работе [7]. Верхнее значение для величины  $\bar{x}$  определим по условию:

$$\bar{x}^B(\gamma) = \bar{x} + t_\gamma \frac{s}{\sqrt{n}}, \tag{10}$$

где  $n$  – объём выборки,  $t_\gamma$  –  $\gamma$ -квантиль распределения Стьюдента с  $(n - 1)$  степенью свободы. При уровне доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$  получим, что  $\gamma = (1 + \alpha) / 2 = 0,975$ . Нижнее значение определим по условию

$$\bar{x}^H(\gamma) = \bar{x} - t_\gamma \frac{s}{\sqrt{n}}. \tag{11}$$

Из условий (10) и (11) получим, что

$$\Delta_\gamma(\bar{x}) = \bar{x}^B(\gamma) - \bar{x}^H(\gamma) = 2t_\gamma \frac{s}{\sqrt{n}}. \tag{12}$$

Определим верхнюю и нижнюю границы величины  $s$ :

$$s_n^B = \sqrt{(n-1)/\chi^2(\gamma'')} \cdot s. \tag{13}$$

$$s_n^H = \sqrt{(n-1)/\chi^2(\gamma')} \cdot s. \tag{14}$$

В условиях (13, 14) принято, что  $\chi^2(\gamma) - \gamma$  - квантиль распределения  $\chi^2$  с  $(n - 1)$  степенью свободы,  $\gamma' = (1 + \alpha) / 2$ ,  $\gamma'' = (1 - \alpha) / 2$ . Отсюда следует:

$$\Delta_\gamma(s) = s \left[ \sqrt{(n-1)/\chi^2(\gamma'')} - \sqrt{(n-1)/\chi^2(\gamma')} \right]. \tag{15}$$

Следовательно, интервальные числа:

$$\bar{X}(\bar{x}; \tau_{\bar{x}}) = (\bar{x}; \gamma \frac{s}{\sqrt{n}}); \tag{16}$$

$$S(s; r_s) = \left( s; \frac{\Delta_\gamma(s)}{2} \right) = \left( s; \frac{s}{2} \left[ \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2(\gamma'')}} - \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2(\gamma')}} \right] \right). \quad (17)$$

Отметим, что для нормального закона распределения параметр  $\hat{\lambda} = s$ . Для логистического закона распределения получим, используя табл. 1 и условие (17), интервальное значение параметра

$$\Lambda(\lambda; r_\lambda) = (0.55135; 0) \cdot S(s; r_s). \quad (18)$$

Для показательного распределения выражение в системе центр-радиус для параметра  $\lambda(m)$ , используя результаты работы [10], получим в виде:

$$\Lambda(\hat{\lambda}(m); r_{\lambda(m)}) = \left( (n-1) / \sum_{i=1}^n x_i; \frac{1}{\sum_{i=1}^n x_i} \left[ \chi_{2n(1-\beta)/2}^2 - \chi_{2n(1+\beta)/2}^2 \right] \right) \quad (19)$$

Для вычисления энтропии непрерывной случайной величины, распределённой по логарифмически нормальному закону, как это следует из сведений, приведенных в табл. 2, необходимо знание оценок  $\hat{\mu}$  и  $\hat{\lambda}$  параметров  $\mu$  и  $\lambda$ . Для их определения использовали работы [11,12]:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln x_i, \quad \hat{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \hat{\mu})^2}{(n-1)}}. \quad (20)$$

Полученные в условии (20) оценки использовали в качестве центров соответствующих интервальных значений, их радиусы определяли по условиям (16) и (17) с поправкой, учитывающей логарифмирование исходных значений.

Интервальные значения параметров  $\hat{\mu}$  и  $\hat{\lambda}$ , входящие в распределение Вейбулла, определяют, используя следующую последовательность действий. Оценки  $\hat{\lambda}$  и  $\hat{\mu}$  параметров  $\lambda$  и  $\mu$  получают, используя методику, изложенную в работе [13]. Полученные результаты соответствуют центральному значению этих оценок. Значения радиусов оценок  $\hat{\lambda}$  и  $\hat{\mu}$  принимали равными половине величины их доверительных интервалов. Метод получения значений доверительных интервалов для параметров

распределения Вейбулла изложен в работе [14]. Радиус оценки  $\hat{\lambda}$  определим по условию:

$$r_\lambda = \frac{\hat{\lambda}}{2} \left[ \left( 1 - u_\gamma \sqrt{\frac{0.608}{n}} \right)^{-1} - \left( 1 + u_\gamma \sqrt{\frac{0.608}{n}} \right)^{-1} \right]. \quad (21)$$

Радиус оценки  $\hat{\mu}$  определим по условию:

$$r_\mu = 0,5 \cdot \hat{\mu} \cdot \left[ \exp(-z_u / \hat{\lambda}) - \exp(-z_l / \hat{\lambda}) \right], \quad (22)$$

а величины

$$z_u = -u_\gamma \sqrt{1,108/n}; \quad z_l = u_\gamma \sqrt{1,108/n}. \quad (23)$$

В условиях (21) - (23) принято, что  $u_\gamma$  - квантиль нормального распределения, соответствующая вероятности  $\gamma$ ,  $n$  - количество наблюдений. В данной работе принято, что  $\gamma = 0,95$ ;  $u_\gamma = 1,645$ .

Интервальные значения параметров  $\lambda$  и  $\mu$ , входящие в гамма-распределение определяют, используя следующую последовательность действий. Способ получения оценок  $\hat{\lambda}$  и  $\hat{\mu}$  параметров  $\lambda$  и  $\mu$  приведен в табл. 1. Значения радиусов оценок  $\hat{\lambda}$  и  $\hat{\mu}$  также принимали равными половине величины их доверительных интервалов. Метод получения значений доверительных интервалов для параметров гамма-распределения изложен в работе [15]. Радиус оценки  $\hat{\mu}$  величины  $\mu$  определим по условию:

$$r_\mu = u_\gamma \sqrt{2\mu(\mu+1)/n}. \quad (24)$$

Радиус оценки  $\hat{\lambda}$  величины  $\lambda$  определяли по условию:

$$r_\lambda = u_\gamma \cdot \left( 1 / (\lambda \sqrt{n}) \right) \cdot \sqrt{2+3/\mu}. \quad (25)$$

Результаты вычисления в интервальном виде в системе центр-радиус энтропии непрерывной случайной величины для рассмотренных в работе плотностей её распределения приведены в табл. 4.

Полученные результаты позволяют сравнивать численные значения оценок энтропий для различных типов распределения, определяемых по результатам наблюдений.

Таблица 4

Результаты вычисления в интервальном виде энтропии непрерывной случайной величины

Тип закона распределения	Параметры закона распределения				Оценка энтропии ( <i>нит</i> )		
	$\hat{\mu}$	$r_\mu$	$\hat{\lambda}$	$r_\lambda$	В системе центр-радиус		В классическом интервальном виде (a; b)
					<i>h</i>	<i>r<sub>h</sub></i>	
Нормальное распределение	-	-	39,1722	3,8825	5,0819	0,0994	(4,9825;5,1814)
Логистическое распределение	-	-	44,4990	4,0049	5,0514	0,5556	(4,4958;5,6070)
Гамма-распределение	22,2225	3,7367	0,1177	0,0195	5,0491	0,8711	(4,1780;5,9202)
Распределение Вейбулла	215,9309	26,3904	5,8282	0,5325	5,0865	0,0235	5,0630;5,1100
Логарифмически нормальное распределение	5,2722	0,0279	0,2003	0,0199	1,4685	0,1050	(3635;1,5736)
Показательное распределение	-	-	0,0048	$7 \cdot 10^{-4}$	6,3760	0,1179	(6,2581;6,4939)

## Выводы

1. Предложена методика интервального вычисления энтропии случайной величины при замене оценок параметров распределения на их значения, определённые в интервальном виде в системе центр-радиус.

2. Центром оценок параметров распределений принимали их значения, полученные по методу моментов.

3. Радиусы оценок принимали равными полуширине их доверительных интервалов.

4. Решение поставленной задачи рассмотрено для нормального распределения, логистического распределения, гамма-распределения, распределения Вейбулла, логарифмически нормального распределения, показательного распределения.

## Список литературы

1. Дубницький В.Ю. Устойчивость оценки энтропии гистограммы непрерывной случайной величины по отношению к изменению количества её интервалов / В.Ю. Дубницький, Л.Д. Филатова, А.И. Ходырев // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Вип. 5(45). – С. 42-46.

2. Дубницький В.Ю. Относительная погрешность оценки энтропии непрерывной случайной величины, заданной плотностью распределения / В.Ю. Дубницький, Л.Д. Филатова, А.И. Ходырев // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Вип. 6(46). – С. 98-102.

3. Michlowicz J. V. Handbook of DIFFERENTIAL ENTROPY / J.V. Michlowicz, J.M. Nichols, Bucholtz F. – New York: A.CHAPMAN & HALL, 2014. – 220 p.

4. Бейтмен Г. Высшие трансцендентные функции. Гипергеометрическая функция. Функции Лежандра. / Г. Бейтмен, А. Эрдейи – М.: НАУКА, 1973. – 296 с.

5. Дубницький В.Ю. Вычисление элементарных функций с интервально заданным аргументом, определённым в системе центр-радиус / В.Ю. Дубницький, А.М. Кобылин,

О.А. Кобылин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2016. – Вип. 7 (144). – С. 107-121.

6. Дубницький В.Ю. Интервальные вычисления в системе центр-радиус значений гамма-функции, неполной гамма-функции, бета-функции и дигамма-функции / В.Ю. Дубницький, А.М. Кобылин, О.А. Кобылин // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – Вип.4 (44). – С. 35-39.

7. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

8. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. / Р.Н. Вадзинский. – М.: НАУКА, 2001. – 295 с.

9. Дубницький В.Ю. Сравнительный анализ датчиков случайных чисел систем Statgraphics и Mathcad / В.Ю. Дубницький, А.Г. Проценко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 7. – С. 85-88.

10. Приходько С.Б. Определение доверительного интервала точечной оценки параметра экспоненциального распределения / С.Б. Приходько, Л.Н. Макарова // Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – № 2. – С. 84-87.

11. ГОСТ 11.009-79. Система управления качеством продукции. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров логарифмически нормального распределения.

12. ГОСТ 12.4.119-82. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Метод оценки защитных средств по аэрозолям.

13. Дубницький В.Ю. Решение в неявном виде обратной задачи моделирования непрерывной случайной величины. / В.Ю. Дубницький, И.Г. Скорикова // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 3(128). – С. 47-52.

14. ГОСТ 11.007-75. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров распределения Вейбулла.

15. ГОСТ 11.011-83. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров гамма-распределения.

Надійшла до редколегії 28.11.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Можаяев, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

## ОБЧИСЛЕННЯ ЕНТРОПІЇ ВИПАДКОВОЇ ВЕЛИЧИНИ, ПАРАМЕТРИ ЯКОЇ ЗАДАНИ В ІНТЕРВАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ В СИСТЕМІ ЦЕНТР-РАДІУС

В.Ю. Дубницький, А.М. Кобилін, О.А. Кобилін

Запропоновано методику інтервального обчислення ентропії випадкової величини при заміні оцінок параметрів розподілу на їх значення, визначені в інтервальному вигляді в системі центр-радіус. Центром оцінок параметрів розподілів приймали їх значення, отримані по методу моментів. Радіуси оцінок приймали рівними напівширині їх довірчих інтервалів. Розв'язання поставленої задачі розглянуто для нормального розподілу, логістичного розподілу, гамма-розподілу, розподілу Вейбулла, логарифмічно-нормального розподілу, показникового розподілу.

**Ключові слова:** ентропія випадкової величини, інтервальні обчислення, система центр-радіус, ентропія нормального розподілу, ентропія логістичного розподілу, ентропія гамма-розподілу, ентропія розподілу Вейбулла, ентропія логарифмічно-нормального розподілу, ентропія показникового розподілу.

## ENTROPY CALCULATION OF A RANDOM VALUE WHOSE PARAMETERS ARE SET IN INTERVAL FORM IN CENTER-RADIUS SYSTEM

V. Yu. Dubnitskiy, A.M. Kobylin, O.A. Kobylin

Interval calculation method is proposed for entropy of a random value in substitution of distribution parameters estimates for their values determined in interval form in center-radius system. The center of distribution parameter estimates were assumed as their values obtained by method of moments. Estimate radii were assumed to equal half width of their confidence intervals. This problem solution is studied for normal distribution, logistical distribution, gamma distribution, Weibull's distribution, logarithmic normal distribution, exponential distribution.

**Keywords:** random value entropy, interval calculation, center-radius system, normal distribution entropy, logistical distribution entropy, gamma distribution entropy, Weibull's distribution entropy, logarithmic normal distribution entropy, exponential distribution entropy.

В.Є. Лютенко, А.М. Яковенко

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ ПРИВОДА РОТОРА РОТОРНОГО ЕКСКАВАТОРА ЕР-315

Запропонована методика розрахунку динамічних навантажень у електромашиинній та механічній системах привода ротора екскаватора. В методиці враховуються електромагнітні процеси у двигуні, податливість пружних ланок, коливання мас, демпфування у пружних ланках. Наведені результати розрахунків перехідних процесів у електромашиинній та механічній системах.

**Ключові слова:** математична модель, екскаватор, привод ротора, механічна, електромашиинна системи, динамічні навантаження, податливість, коливальні явища.

### Вступ

У дорожньо-будівельному виробництві, аграрному комплексі та гірничо-видобувній промисловості важливе місце займає використання роторних екскаваторів. Раціональне їх використання дає можливість значно підвищити ефективність виконуваних робіт.

У металургії важливе місце займає виробництво вогнетривких виробів. Для їх виготовлення необхідна сировина яка також видобувається із використанням роторних екскаваторів.

Створення раціональних і оригінальних конструкцій роторних екскаваторів в значній мірі залежить від уміння зіставляти уже відомі варіанти і вводити нові, що відповідають високому рівню сучасної техніки.

Удосконалення привода ротора роторного екскаватора також нерозривно пов'язано із вивченням питань динаміки і міцності привідних систем.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Створення нових типів машин, а також удосконалення існуючих постійно вимагають уточнення методів їх розрахунку, що також пов'язано із необхідністю вивчення питань динаміки.

Вперше на динаміку процесу роторних екскаваторів звернув увагу L. Raspeg [4], який відмітив коливання роторних стріл, визваних «резонуванням». Серйозні динамічні проблеми виникли на початку 1960-х років з початком будівництва і широкого використання роторних екскаваторів на відкритих гірничих роботах в СРСР для екскавації порід, кам'яного і бурого вугілля в районах Сибіру, Далекого сходу і Казахстану. Складні умови експлуатації і висока динамічність процесу приводили до вимушеного обмеження режиму роботи машини і, при цьому, до зниження продуктивності і економічним втратам [1, 2, 5].

Постала необхідність дослідження динаміки роторних екскаваторів і знаходження раціональних шляхів усунення коливань.

Великий вклад в вирішенні питань динаміки роторних екскаваторів вніс учений В.Ю. Чудновський [6 – 11]. Так в праці [6] ним розроблена схема робочих рухів і пружних коливань ротора у вибої та визначені під навантаженням додаткових шість віртуальних пружних переміщень.

У праці [7 – 9] приведені результати розроблення і впровадження ковзів ступінчастого різання місткістю  $0,12 \text{ м}^3$  з самозаточуючими зубами до роторних екскаваторів ЕР-315, ЕРП-315, які розроблені під його керівництвом. Нове ріжуче обладнання показало зниження сили різання, динамічності навантаження головних приводів і підвищення продуктивності машини.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** У даний час вивчення вимагає характер навантаження ротора екскаватора при перехідних процесах, особливо при пуску його привода.

При створенні адекватних фізичному процесу математичних моделей привода ротора розглядаються відокремлено механічні і електромашиинна системи, що не дає можливості реально оцінити електромеханічний об'єкт і спільно розглянути механічні і електромагнітні коливальні явища.

У свій час В.Ю. Чудновський [10, 11] дослідив динаміку головного привода ротора роторних екскаваторів з жорстко і пружно установленим редуктором.

Автором розроблена схема заміщення електромеханічної системи привода робочого органу (ротора) і складена система диференціальних рівнянь руху мас цієї системи. Наряду з позитивним рішенням поставленої задачі необхідно відмітити, що використана автором залежність:

$$M_{\text{п}} = M_{\text{п}}(t) + \mu_{\text{п}} \phi_2 = M_{\text{к}} i_{\text{п}} \eta_{\text{п}} (1 - \omega_{\text{в}} / \omega_0) + \mu_{\text{п}} \phi_2, \quad (1)$$

де  $M_{\text{к}}$ ,  $\omega_0$  – момент короткого замикання і частота обертання холостого ходу електродвигуна;  $\omega_{\text{в}}$  – номінальна частота обертання електродвигуна;  $i_{\text{п}}$ ,  $\eta_{\text{п}}$  – передавальне число і ККД механізму привода;

$\mu_n$  – коефіцієнт дисипативних втрат приводу;  $\phi_2$  – кутова швидкість приводу, не дає можливості ураховувати електромагнітні перехідні процеси в електроприводі (у привідному електродвигуні ротора) у тому числі – значення постійних і критичного моменту електродвигуна, а також – критичного ковзання ротора.

Дана робота і направлена на вирішення, з використанням застосунку MathCAD, питань динаміки приводу ротора роторного екскаватора EP – 315 де б враховувались електромагнітні перехідні процеси в електроприводі (в привідному електродвигуні).

**Постановка завдання** Метою цієї роботи є створення адекватної фізичному процесу моделі приводу ротора роторного екскаватора, що являє собою електромеханічний об'єкт, на основі спільного розгляду механічних і електромагнітних коливальних явищ.

### Виклад основного матеріалу

Роторні екскаватори являють собою складну механічну систему, яка дозволяє успішно виконувати землерийні роботи в кар'єрах і при виконанні різноманітних робіт в будівництві, в тому числі – у аграрному секторі.

Як уже відзначалось, у екскаваторах використовуються приводи двох типів: електропривід, а також двигуни внутрішнього згорання.

В роторному екскаваторі, який ми розглядаємо, використовується електропривід.

Можно констатувати, що під час роботи роторного екскаватора виконується різання ґрунтів (сировини) і переміщення їх в відвал, або транспортний засіб.

Нами розглядається динаміка процесу різання ґрунтів (сировини) ковшами ротора роторного екскаватора.

Оскільки роторний екскаватор являє собою пружну систему, яка складається з металевих конструкцій і приводів, навантажувальні фактори котрої змінюються в часі й за напрямком, то при різанні ґрунтів (сировини) неминучі коливання, у результаті чого в ланках виникають додаткові динамічні навантаження.

Для значного спрощення процесу досліджень нами використане математичне моделювання.

Існуючі роторні екскаватори являють собою пружну багатомасову систему з нескінченним числом ступенів вільності. Маса, що входять у систему, мають зосереджені й розподілені параметри.

Враховуючи особливості конструкції роторних екскаваторів, їх динаміку розглядаємо при деяких допущеннях.

1. При приведенні мас обертових елементів приводу ротора екскаватора не беруться до уваги пружні властивості передач приводу, оскільки їхні

жорсткості в багато разів вищі за жорсткості конструкції самого роторного екскаватора: враховується також відсутність проміжків у кінематичній схемі приводу й синхронне переміщення мас, що приводяться.

2. У деяких випадках не враховується загасання коливань від зовнішнього та внутрішнього тертя у зв'язку з тим, що у початковому періоді при невеликих значеннях сили опору вони майже не впливають на коливальні процеси.

3. Припускаємо, що у процесі коливань існує лінійна залежність між зусиллями і деформаціями.

Перехідні процеси, що мають місце у роботі привідних механізмів роторів екскаваторів, значною мірою визначають динамічні навантаження в елементах розглянутих систем. На динаміку процесів пуску й зупинення механізму приводу ротора екскаватора істотно впливають інерційні й жорсткісні параметри елементів системи. Пуск і зупинення приводу ротора виконується при завантажених ковшах.

При розгляді динамічних явищ, які виникають під час пуску приводу екскаватора, за основний випадок умов навантаження прийемо поворот з завантаженими ковшами ротора при різанні ґрунтів.

Розрахункова схема представлена на рис. 1, де  $J_{pd}$  – момент інерції ротора електродвигуна приведений до вісі обертання ротора екскаватора з урахуванням мас механізмів, що обертаються;  $J_{pe}$  – сумарний момент інерції ротора з завантаженими ковшами відносно вісі обертання ротора екскаватора;  $Y_{pd}$ ,  $Y_{pe}$  – координати руху зосереджених мас (кути відліку);  $C_n$  – приведена жорсткість привідної частини ротора екскаватора.

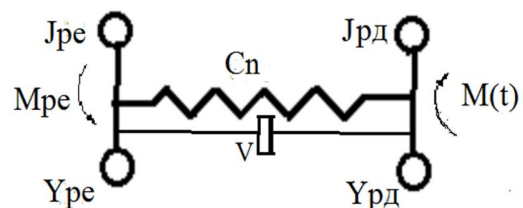


Рис. 1. Розрахункова схема навантаження механізму приводу ротора екскаватора під час пуску привідного механізму

Приведення всіх мас системи, жорсткостей пружних ланок, а також сил робимо до вісі обертання ротора екскаватора.

Рівняння руху запишемо в такому вигляді:

$$J_{pd} \cdot Y_{pd}'' + C_n (Y_{pd} - Y_{pe}) + v(Y_{pd}' - Y_{pe}') = M(t), \quad (2)$$

$$J_{pe} \cdot Y_{pe}'' - C_n (Y_{pd} - Y_{pe}) - v(Y_{pd}' - Y_{pe}') = -M_{pe}, \quad (3)$$

Момент привідного електродвигуна виразимо диференціальною залежністю [3]:

$$M(t) = A_0 u + A_1 M'(t) + A_2 u^2 Y'_{pd}(t), \quad (4)$$

де  $Y_{pd}, Y_{pe}, Y'_{pd}, Y'_{pe}$  – кутове переміщення і кутова швидкість мас  $J_{pd}$  і  $J_{pe}$  у напрямку повороту ротора;  $v$  – коефіцієнт, що характеризує загасання;  $M_{pe}$  – момент опору, який створюють сили різання і вага ротора з ґрунтом (сировиною).  $M_{pe} = 55,12$  кНм [11];  $C_n$  – приведена жорсткість механізму привода ротора екскаватора,  $C_n = 1,1 \cdot 10^8$  Н/м [11];  $u$  – передавальне число привода ротора,  $u = 4,5$ ;  $A_0, A_1, A_2$  – постійні електродвигуна. Значення постійних визначаються виразами:

$$A_0 = \frac{2M_k}{S_k}; \quad A_1 = \frac{1}{\omega_0 S_k}; \quad A_2 = \frac{2M_k}{\omega_0 S_k}, \quad (5)$$

де  $M_k$  – критичний момент електродвигуна;  $S_k$  – критичне ковзання ротора електродвигуна;  $\omega_0$  – синхронна кутова швидкість електродвигуна;  $t$  – час.

Межі використання рівняння (4) обмежуються значеннями моменту [3]

$$-0,8M_k \leq M \leq 0,8M_k.$$

Початкові умови представимо у вигляді ( $t = 0$ )

$$Y_{pdo} = 0, \quad Y_{peo} = 0, \quad Y'_{pdo} = 0, \quad Y'_{peo} = 0, \quad M_0 = 0. \quad (6)$$

Для зручності рішення на ЕОМ системи рівнянь з використанням застосунок MathCAD привоимо її до такого вигляду:

$$J_{pd}(t) \cdot Y''_{pd}(t) + C_n [Y_{pd}(t) - Y_{pe}(t)] + v [Y'_{pd}(t) - Y'_{pe}(t)] = M(t);$$

$$J_{pe}(t) \cdot Y''_{pe}(t) - C_n [Y_{pd}(t) - Y_{pe}(t)] - v [Y'_{pd}(t) - Y'_{pe}(t)] = -M_{pe};$$

$$M(t) = A_0 u + A_1 M'(t) + A_2 u^2 Y'_{pd}(t).$$

$$z'(t) = d(t);$$

$$d'(t) = -\frac{C_n}{J_{pd}(t)} z(t) - \frac{v}{J_{pd}(t)} d(t) + \frac{C_n}{J_{pd}(t)} q(t) + \frac{v}{J_{pd}(t)} n(t) + \frac{u}{J_{pd}} M(t);$$

$$q'(t) = n(t);$$

$$n'(t) = \frac{C_n}{J_{pe}(t)} z(t) + \frac{v}{J_{pe}(t)} d(t) -$$

$$-\frac{C_n}{J_{pe}(t)} q(t) - \frac{v}{J_{pe}(t)} n(t) - \frac{M_{pe}}{J_{pe}(t)};$$

$$M'(t) = -\frac{A_2 u^2}{A_1} z(t) + \frac{1}{A_1} M(t) - \frac{A_0 u}{A_1};$$

$$k(t) = \frac{uM(t)}{J_{pd}(t)} - \frac{Y_{pd}(t)C_n}{J_{pd}(t)} + \frac{Y_{pe}(t)C_n}{J_{pd}(t)};$$

$$w(t) = -\frac{M_{pe}}{J_{pe}(t)} + \frac{Y_{pd}(t)C_n}{J_{pe}(t)} - \frac{Y_{pe}(t)C_n}{J_{pe}(t)},$$

де  $k(t), w(t)$  кутове прискорення відповідно приво-ду ротора і самого ротора.

Після підстановки даних взятих із таблиці 1 отримаємо

$$z'(t) = d(t);$$

$$d'(t) = 0,084M(t) - 2065728z(t) - 8d(t) + 2065728q(t) + 8n(t);$$

$$q'(t) = n(t);$$

$$n'(t) = 18490z(t) + 8d(t) - 18490q(t) - 8n(t) - 9,265;$$

$$n'(t) = 18490z(t) + 8d(t) - 18490q(t) - 8n(t) - 9,265; \quad (8)$$

$$M'(t) = -1,047M(t) - 31966d(t) + 558000;$$

$$k(t) = 0,019M(t) - 2065728z(t) - 8d(t) + 2065728q(t) + 8n(t);$$

$$w(t) = -9,265 + 18490z(t) + 8d(t) - 18490q(t) - 8n(t).$$

Початкові умови мають вигляд ( $t = 0$ ),

$$Y_{pdo} = 0, \quad Y_{peo} = 0, \quad Y'_{pdo} = 0, \quad Y'_{peo} = 0,$$

$$M_0 = 0, \quad k_0 = 0, \quad w_0 = 0. \quad (9)$$

Розв'язання системи рівнянь (7) робимо для механізму приво-ду ротора екскаватора з електроприводом, що мають параметри, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри привода ротора екскаватора

Параметри	Одиниці вимірювання	Числові значення
$J_{pd}$	кг·м <sup>2</sup>	53,25
$J_{pe}$	кг·м <sup>2</sup>	5949
$M_{pe}$	кНм	55,12
$u$	–	4,5
$v$	–	911152
$C_n$	Н/м	$1,1 \cdot 10^8$

Значення постійних  $A_0, A_1, A_2$  для робочої характеристики електродвигуна (тип – МА-36-72-6,  $N = 90$  кВт,  $n = 70$  об/хв.; кутова швидкість ротора – 5,93 рад/с):

$$A_0 = 118420, \quad A_1 = 0,955, \quad A_2 = 1507,52.$$

Для визначення прискорень в системі диференційних рівнянь (7) записані два рівняння прискорень  $K(t)$  маси  $Z(t) = Y_{pd}(t)$ , та  $W(t)$  маси  $Q(t) = Y_{pe}(t)$ . В результаті розв'язання одержуємо значення моменту електродвигуна механізму приво-ду ротора, кутові переміщення і швидкості приво-да та ротора, а також їх кутові прискорення.

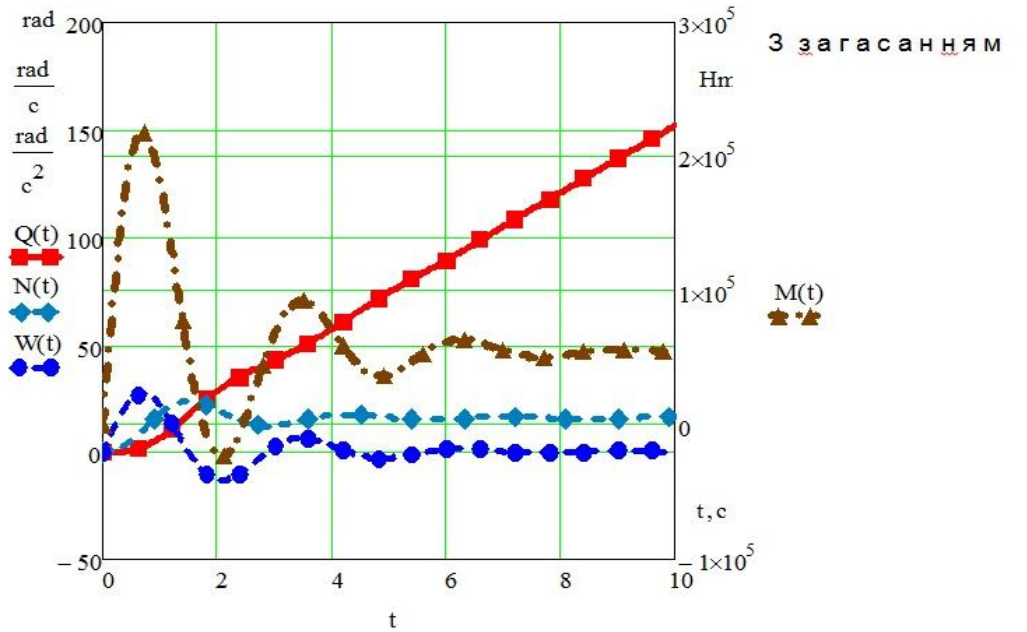


Побудований за виконаними розрахунками графік зміни моменту електродвигуна привода ротора у функції часу (рис. 3) показує, що розгін привода ротора триває близько 6 с від моменту його включення. Максимального значення момент досягає при  $t = 1$  с від початку пуску.

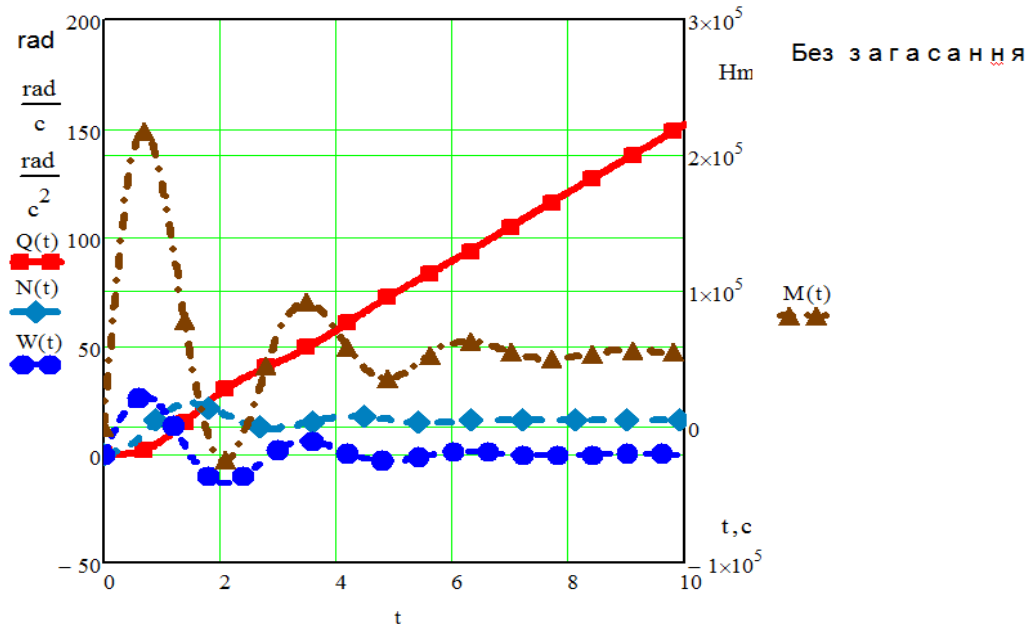
Розв'язуючи, з використанням застосунок MathCAD, систему рівнянь (8) з доданими рівняннями прискорень  $K(t)$  маси  $Z(t) = Y_{pd}(t)$  та  $W(t)$  маси  $Q(t) = Y_{pe}(t)$  нами отримано значення

прискорень електродвигуна ротора екскаватора  $K(t)$  та самого ротора  $W(t)$  (рис. 2, а та 3, б).

Побудований за виконаними розрахунками графік зміни прискорень ротора екскаватора  $W(t)$  (рис. 2) показує, що прискорення має коливальний характер мас. Графіки (рис. 2) також показують, що після 6–7 с прискорення практично дорівнює нулю і рух набуває рівномірного характеру, як видно із графіка зміни моменту електродвигуна привода ротора  $M(t)$ .



а



б

Рис. 2. Зміна кутового переміщення маси  $Q(t) = Y_{pe}$ , кутової швидкості  $N(t) = Q'(t) = Y'_{pe}$ , кутового прискорення ротора екскаватора  $W(t) = Y''_{pe}(t) = N'(t) = Q''(t)$  та моменту електродвигуна привода ротора  $M(t)$ : а – із загасанням; б – без загасання

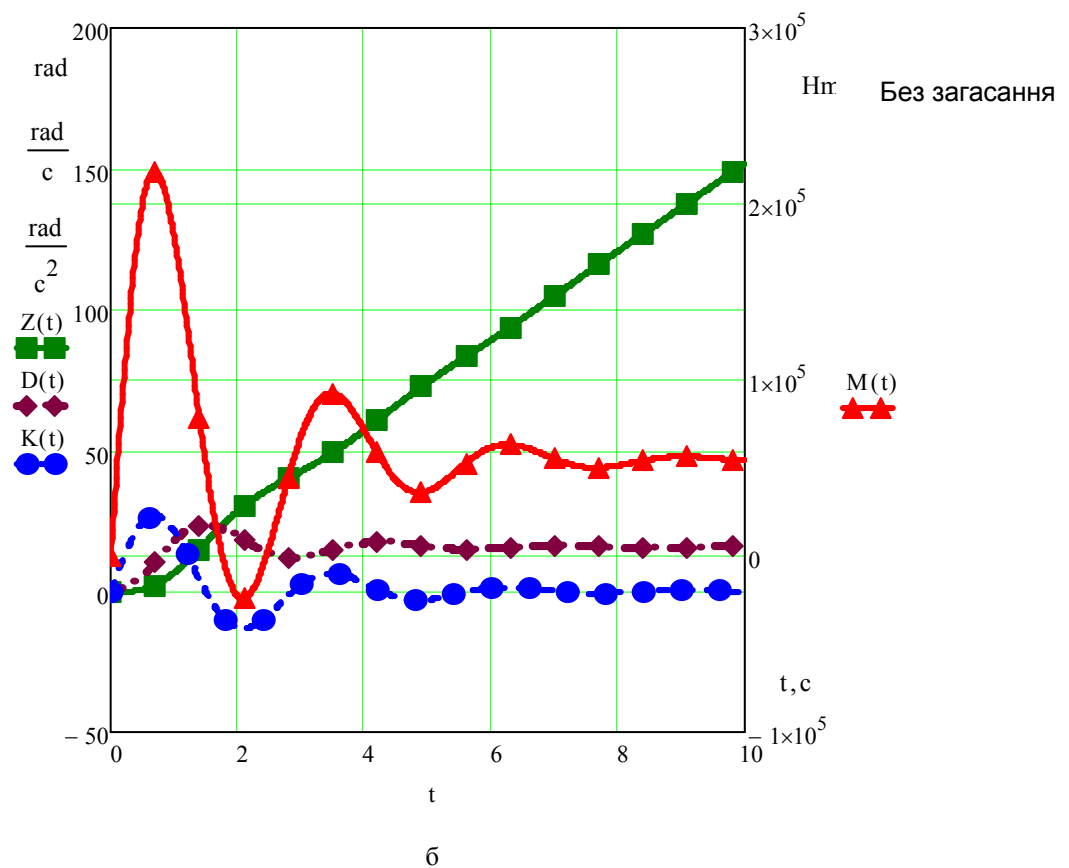
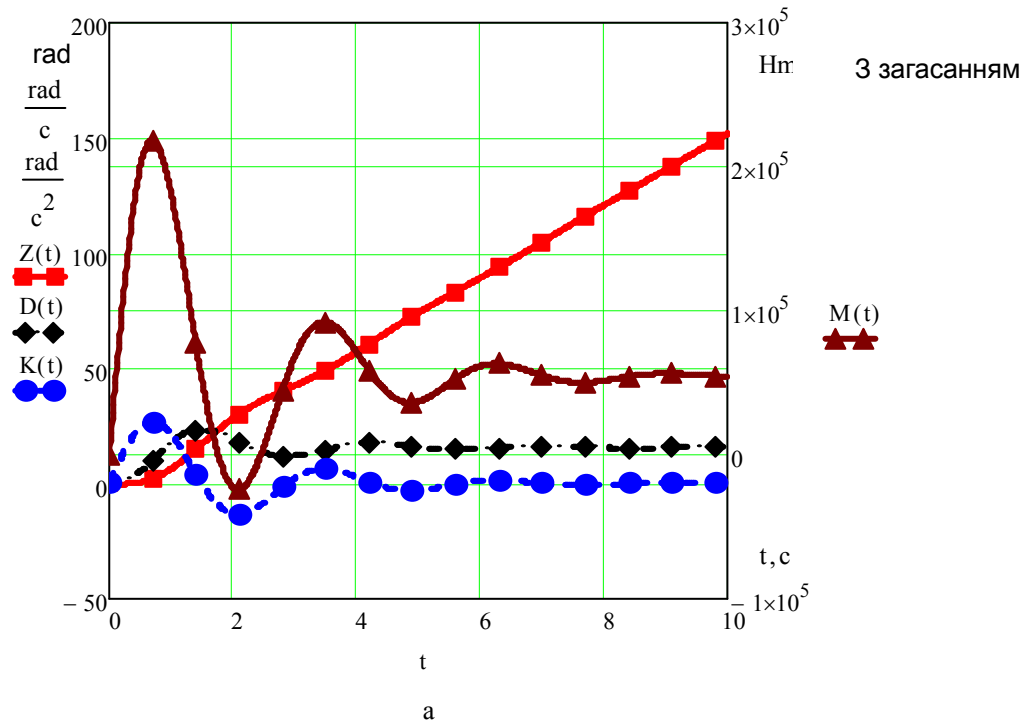


Рис. 3. Зміна кутового переміщення маси  $Z(t) = Y_{pd}$ , кутової швидкості  $D(t) = Z'(t) = Y'_{pd}$ , кутового прискорення ротора електродвигуна  $K(t) = Y''_{pd}(t) = D'(t) = Z''(t)$  та моменту електродвигуна привода ротора  $M(t)$ : а – із загасанням; б – без загасання

Порівнюючи побудовані графіки, як з урахуванням загасання  $v$  так і без нього, можна зробити висновок, що значення відрізняються несуттєво і визначені параметри мають більш точні значення при урахуванні загасання  $v$ .

Для перехідних процесів, показаних на рис. 2 та 3, характерне інтенсивне коливання електромагнітного моменту, кутової швидкості і прискорень електродвигуна, а також ротора екскаватора. Тому розрахунок робочих режимів роторних екскаваторів необхідно виконувати на основі рівнянь електромеханічного стану системи.

Використання числових методів інтегрування диференціальних рівнянь руху і електромагнітного стану дозволяє використовувати запроповану методику для розрахунку динамічних навантажень у електромашинній та механічній системах роторних екскаваторів.

## Висновки

1. В роботі на основі аналізу тенденцій розвитку землерийних машин та існуючих технічних рішень роторних екскаваторів, а також з використанням математичного застосунку MathCAD досліджено механізм привода ротора роторного екскаватора EP – 315.

2. В роботі визначені сили різання,  $\tau$ , а також теоретично досліджено, з використанням математичного програмного середовища MathCAD, динаміку механізму привода ротора роторного екскаватора.

3. Застосування числових методів інтегрування диференціальних рівнянь руху і електромагнітного стану дозволяє використовувати запроповану методику для розрахунку динамічних навантажень у електромашинній і механічній системах роторних екскаваторів.

4. Результати дослідження механізму привода ротора роторного екскаватора EP–315, з вико рис-

танням математичного програмного середовища MathCAD, можуть бути використані при проектуванні, розрахунку та визначенні динамічних навантажень подібних землерийних машин.

## Список літератури

1. *Рабочие органы роторного экскаватора.* Ю.И. Беляков, В.М. Владимиров. Москва «Машиностроение», 1967. – 372 с.
2. *Совершенствование экскаваторных работ на карьерах.* Ю.И. Беляков В.М.Владимиров. Москва «Недра», 1974. – 356 с.
3. *Ключев В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода / В.И. Ключев. – М.: Энергия, 1976. – 320 с.*
4. *Rasper L. Die Entwicklung der Schaufelradbagger in Deutschland// Braunkohle, 1955. Heft 19/20. St. 429 – 441.*
5. *Владимиров В.М., Трофимов В.К. Повышение производительности карьерных многоковшовых экскаваторов. М.: Недра, 1980. –312 с.*
6. *Чудновский В.Ю. Динамические проблемы карьерных роторных экскаваторов и их решение // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 12. С. 33– 37.*
7. *Чудновский В.Ю. Механика роторных экскаваторов. Иерусалим: Изд-во МИКА К.А., 2002. – 329 с.*
8. *Чудновский В.Ю. Основы рационального конструирования ковшевой роторных экскаваторов // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 6. С. 2– 6.*
9. *Чудновский В.Ю. Принципы конструирования самозатачивающегося режущегося инструмента роторных экскаваторов // Уголь. 2006. № 2. С. 16– 20.*
10. *Чудновский В.Ю. Исследование динамики и устойчивости главного привода роторных экскаваторов с упругой подвеской редуктора // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 4. С. 46 – 49.*
11. *Чудновский В.Ю. Динамика главного привода роторных экскаваторов с жестко установленным редуктором // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 3. С. 44– 49.*

Надійшла до редколегії 12.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.Л. Винников, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА ПРИВОДА РОТОРА РОТОРНОГО ЭКСКАВАТОРА ЭР–315

В.Е. Лютенко, А.М. Яковенко

*Предложена методика расчета динамических нагрузок в электромашинной и механической системах привода ротора экскаватора. В методике учитываются электромагнитные процессы в двигателе, податливость упругих звеньев, колебания масс, демпфирование в упругих связях. Приведены результаты расчетов переходных процессов в электромашинной и механической системах.*

**Ключевые слова:** математическая модель, экскаватор, привод ротора, механическая, электромашинная системы, динамические нагрузки, податливость, колебательные явления.

## A MATHEMATICAL MODEL FOR INVESTIGATING THE MECHANISM OF DRIVING F ROTARY EXCAVATOR ER–315

V.Ye. Liutenko, A.M. Yakovenko

*The proposed method for calculating dynamic loads in electric and mechanical systems is a technique for calculating dynamic loads in electric and mechanical drives of an excavator rotor. The technique takes into account the electromagnetic processes in the engine, the elasticity of the elastic parts, the damping in the masses, and damping in the elastic links. The results of calculations of transients in electric and mechanical systems are presented.*

**Keywords:** Mathmodel, excavator, transmission of rotary table, mechanical, systems of electrical machine, dynamical strain, pliability, vibration phenomena.

Yu.Ye. Pankratova<sup>1</sup>, O.M. Khlud<sup>2</sup>, V.M. Patsuk<sup>2</sup><sup>1</sup> Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv<sup>2</sup> Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv

## PACKING OF ELLIPSOIDS IN A CONVEX CONTAINER

*We consider the problem of optimal packing of a given collection of unequal ellipsoids into an arbitrary convex container of minimal sizes. To describe non-overlapping, containment and distance constraints we derive phi-functions and quasi-phi-functions. We propose a relaxation approach related to constructing a phi-function for containment constraints to avoid equations of more than four degree. We formulate the packing problem in the form of a nonlinear programming problem and propose a solution method that allows us to search for local optimal packings. We provide computational results illustrated with figures.*

**Keywords:** packing, ellipsoids, convex container, non-overlapping, containment, quasi-phi-functions, non-linear optimisation.

### Introduction

The optimal ellipsoid packing problem is NP-hard problem and has multiple applications in modern biology, medicine, mineral industries, molecular dynamics, nanotechnology, as well as in the chemical industry, power engineering etc. For example, the formation and growth of crystals, the structure of liquids, crystals and glasses, the flow and compression of granular materials, the thermodynamics of liquid to crystal transition and other.

The 3D Modeling software product family is a set of scientific tools for three dimensional modeling of granular structures and substances. It provides comprehensive visual and quantitative analysis of structural characteristics, such as spatial density, spatial porosity, spatial distribution, grain and pore structure.

Robotics: a robot arm and other elements in a scene are approximated by three-dimensional ellipsoids and it allows the authors [1] to explore the relation between the overlapping of ellipsoids and the overlapping of free-form objects.

A problem related to the chromosome organization in the human cell nucleus and that falls between ellipsoid packing and covering is considered in [2].

### Related works

Many works have tackled the optimal ellipsoid packing problem.

In [3] is analysed the density of three-dimensional ellipsoid packings. Technique that considered in [4] allow to statistically explore the geometrical structure of random packings of spheroids. In [2] the problem consists in minimizing a measure of the total overlap of a given set of ellipsoids arranged within a given ellipsoidal container. In [5] consider the problem of packing ellipsoids within rectangular containers of minimum

volume. The non-overlapping constraints are based on separating hyperplanes.

Nonlinear programming models are proposed and tackled by global optimisation methods. Instances with up to 100 ellipsoids.

Analytical description of placement constraints (non-overlapping, containment and distance constraints) for ellipsoids with continuous rotations to produce NonLinear Programming models (NLP-models) of ellipsoids' packing problems is of paramount importance.

### Problem formulation

We consider here a packing problem in the following setting.

Let  $n$  be the number of ellipsoids to be packed. And let  $\Omega$  be a given convex container of variable sizes  $p$ . The objective of the problem is to find ellipsoids

$$E_i(u_i), i \in I_n = \{1, 2, \dots, n\},$$

such that

$$\text{int } E_i \cap \text{int } E_j = \emptyset,$$

for each  $j, i \in I_n$  with  $i \neq j, E_i \subset \Omega$  for each  $j, i \in I_n$  and the volume of the container will be minimized.

Ellipsoid  $E$  is given by semi-axes  $a, b$  and  $c$ ,  $u = (v, \theta)$  is a variable vector of placement parameters,  $v = (x, y, z)$  is a translation vector,  $\theta = (\theta^1, \theta^2, \theta^3)$  is a vector of rotation parameters, where  $\theta_1^1, \theta_1^2, \theta_1^3$  are Euler angles.

Within the research as a container  $\Omega$  we consider a convex 3D region bounded by surfaces which described by infinitely differentiable functions, in particular, a sphere, a cylinder, a cuboid, an ellipsoid of variable sizes.

## Tools of mathematical modeling

To describe non-overlapping and containment constraints we use quasi-phi-functions and phi-functions. To describe distance constraints we apply adjusted quasi-phi-functions and adjusted phi-functions. Let us consider clear definitions of a phi-function [6] and a quasi-phi-function [7].

*Definition.* A continuous and everywhere defined function  $\Phi^{AB}(u_A, u_B)$  is called a phi-function for objects  $A(u_A)$  and  $B(u_B)$  if

$$\Phi^{AB} < 0, \text{ if } \text{int } A(u_A) \cap \text{int } B(u_B) \neq \emptyset;$$

$$\Phi^{AB} = 0, \text{ if } \text{int } A(u_A) \cap \text{int } B(u_B) = \emptyset \text{ and } \text{fr}A(u_A) \cap \text{fr}B(u_B) \neq \emptyset;$$

$$\Phi^{AB} > 0, \text{ if } A(u_A) \cap B(u_B) = \emptyset.$$

Let  $\rho$  be a given minimal allowable distance between objects  $A(u_A)$  and  $B(u_B)$ :

$$\text{dist}(A, B) \geq \rho.$$

*Definition.* A continuous and everywhere defined function  $\Phi'^{AB}(u_A, u_B, u')$  is called a quasi-phi-function for two objects  $A(u_A)$  and  $B(u_B)$  if

$$\max_{u' \in U} \Phi'^{AB}(u_A, u_B, u')$$

is a phi-function for the objects.

The general property of a quasi-phi-function is: if

$$\Phi'^{AB}(u_A, u_B, u') \geq 0$$

for some  $u'$ , then

$$\text{int } A(u_A) \cap \text{int } B(u_B) = \emptyset.$$

A function defined by

$$\begin{aligned} \Phi'^{AB}(u_A, u_B, u') &= \\ &= \min\{\Phi^{AP}(u_A, u'), \Phi^{BP^*}(u_B, u')\} \end{aligned}$$

is a quasi-phi-function for the pair of convex objects  $A$  and  $B$ .

$\Phi^{AP}(u_A, u')$  is a phi-function for  $A(u_A)$  and a half-space  $P(u')$  and  $\Phi^{BP^*}(u_B, u_p)$  is a phi-function for  $B(u_B)$  and

$$P^*(u') = R^3 \setminus \text{int } P(u').$$

### Nonoverlapping constraints

A function defined by

$$\Phi(u_1, u_2, u') = \min\{\chi(\theta_1, \theta_2, u'), \chi_1^+(u_1, u_2, u'),$$

$$\chi_1^-(u_1, u_2, u'), \chi_2^+(u_1, u_2, u'), \chi_2^-(u_1, u_2, u')\}$$

is a quasi-phi-function for ellipsoids  $E_1(u_1)$  and  $E_2(u_2)$ , where

$$u' = (t_1, g_1, t_2, g_2)$$

is a vector of parametric variables of ellipsoids,

$$\chi = -\langle N'_1, N'_2 \rangle = -\alpha'_1 \alpha'_2 - \beta'_1 \beta'_2 - \gamma'_1 \gamma'_2;$$

$$\chi_k^\pm =$$

$$= \alpha'_1(x_{2k}^\pm - x_1) + \beta'_1(y_{2k}^\pm - y_1) + \gamma'_1(z_{2k}^\pm - z_1) - 1;$$

$$(x'_i, y'_i, z'_i) =$$

$$= v_i + M(\theta_i) \cdot (x_i^t, y_i^t, z_i^t), \quad i = 1, 2;$$

$$(x_{22}^\pm, y_{22}^\pm, z_{22}^\pm) =$$

$$= v_2 + M(\theta_2)(a_2 \cos t_2, b_2 \sin t_2, \sqrt{2a_2})^T;$$

$$\alpha_i = \frac{\cos t_i}{a_i};$$

$$\beta_i = \frac{\sin t_i \cos g_i}{b_i};$$

$$\gamma_i = \frac{\sin t_i \sin g_i}{b_i},$$

$$(\alpha'_i, \beta'_i, \gamma'_i) = M(\theta_i)(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i), \quad i = 1, 2;$$

$(x_{2k}^+, y_{2k}^+, z_{2k}^+)$  is a vector of coordinates of point  $g_{2k}^+$ ;

$(x_{2k}^-, y_{2k}^-, z_{2k}^-)$  is a vector of coordinates of point  $g_{2k}^-$ ,  $M(\theta)$  is a rotation matrix of the form

$$M(\theta) = \begin{pmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \mu_{13} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \mu_{23} \\ \mu_{31} & \mu_{32} & \mu_{33} \end{pmatrix},$$

$$\mu_{11} = \cos \theta^1 \cos \theta^3 - \sin \theta^1 \cos \theta^2 \sin \theta^3;$$

$$\mu_{12} = -\cos \theta^1 \sin \theta^3 - \sin \theta^1 \cos \theta^2 \cos \theta^3;$$

$$\mu_{13} = \sin \theta^1 \sin \theta^2;$$

$$\mu_{21} = \sin \theta^1 \cos \theta^3 + \cos \theta^1 \cos \theta^2 \sin \theta^3;$$

$$\mu_{22} = -\sin \theta^1 \sin \theta^3 + \cos \theta^1 \cos \theta^2 \cos \theta^3;$$

$$\mu_{23} = -\cos \theta^1 \sin \theta^2;$$

$$\mu_{31} = \sin \theta^2 \sin \theta^3;$$

$$\mu_{32} = \sin \theta^2 \cos \theta^3;$$

$$\mu_{33} = \cos \theta^2.$$

In order to obtain the containment constraints of an ellipsoid in a region, a construction of the phi-function is required.

When constructing this function, essential difficulties arise that are associated with the appearance of equations of more than four degree. In this regard, we propose an approach related to constructing a phi-function for an object approximating the ellipsoid with a required accuracy.

At the first step, an approximation of the ellipsoid with the circumscribed polyhedron is constructed. Starting with, e.g., a parallelepiped we sequentially choose the vertex most distant to the ellipsoid. Then we find its projection to the ellipsoid.

In the projection point on the ellipsoid surface we construct the tangent plane and then section the polyhedron with this plane. We do so till required accuracy is achieved.

Projection may be found as a solution of an appropriate optimisation problem using IPOPT optimisation package.

Since the simplest form of phi-function is in case the included object is a sphere, an outer approximation of the obtained polyhedron with the spheres is applied using the method described in [8].

For spheroids we use another approximation approach, based on mathematical model of circular covering of arbitrary domain [9] and ellipse parameterization proposed in [10].

Within the research we assume that each ellipsoid  $E_i(u_i)$  is approximated by a collection of spheres

$$E_i(u_i) \subset \hat{E}_i(u_i) = \bigcup_{k=1}^{n_i} S_{ik}(u_i) \text{ (Fig 1).}$$

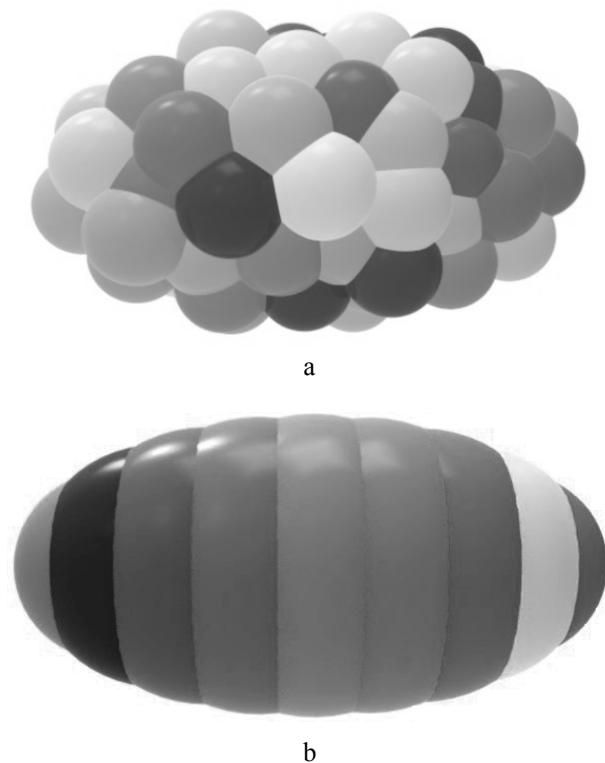


Fig. 1. Covering of:  
a – ellipsoid by identical spheres;  
b – spheroid by spheres of dissimilar radii.

To describe the containment constraint

$$E_i \subset \Omega(p)$$

we use a phi-function for

$$\hat{E}_i(u_i)$$

and

$$\Omega^* = \mathbb{R}^3 \setminus \text{int } \Omega$$

that may be defined in the form

$$\Phi(u_i, p) = \min\{\Phi_1(u_i, p), \dots, \Phi_{n_i}(u_i, p)\},$$

where  $\Phi_k(u_i, p)$  is a phi-function for sphere  $S_{ik}$  and  $\Omega^*$ .

### Mathematical model

Mathematical model of the ellipsoid packing problem can be presented in the form

$$\min_{u \in W \subset \mathbb{R}^\sigma} F(u), \tag{1}$$

where

$$W = \left\{ u \in \mathbb{R}^\sigma : \gamma_{ij}(u) \geq 0, \gamma_i(u) \geq 0, \right. \\ \left. i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}, j > i \right\}; \tag{2}$$

$F(u)$  is the volume of the container  $\Omega$ .

$u = (l, w, u_1, u_2, \dots, u_n, \tau) \in \mathbb{R}^\sigma$  is the vector of all variables

$p$  denotes the variable metrical characteristics of the container  $\Omega$

$u_i = (x_i, y_i, \theta_i)$  is the vector of placement parameters for  $E_i, i \in I_n$

$\tau$  is the vector of additional variables for quasi-phi-functions

$\gamma_{ij}$  is a phi-function (quasi-phi-function) for  $E_i$  and  $E_j$

$\gamma_i(u)$  is a phi-function for approximated ellipsoid  $E_i$  and the object  $\Omega^*$

Problem (1)-(2) is NP-hard nonlinear programming problem (exact, non-convex and continuous NLP-model).

To search for a local minimum of problem (1)-(2) we employ a special local optimisation procedure described in [7].

Here we present a number of examples to demonstrate the efficiency of our methodology.

### Conclusions

We developed here a continuous NLP-model of optimal packing of a given collection of unequal ellipsoids.

The use of quasi-phi-functions allows us to handle arbitrary ellipsoids which can be continuously rotated and translated, and relaxation approach allows us to formalize containment constraints for arbitrary convex container and avoid equations of more than four degree.

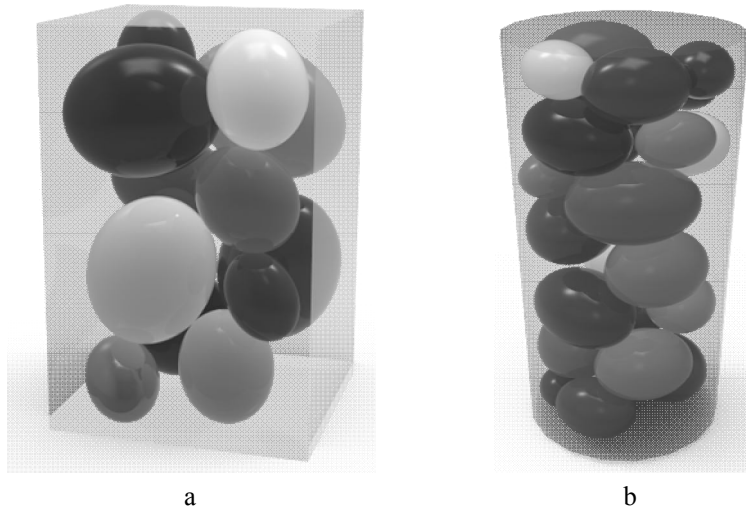


Fig. 2. Instances of local optimal placement of ellipsoids in: a – cuboid; b – cylinder

## References

1. Choi, Y.K. Elber. Continuous collision detection for ellipsoids. / Y.K. Choi, J.W. Chang, W. Wang // *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* M. S. – 2009. 15(2):311-324,
2. Uhler, C. Packing Ellipsoids with Overlap / C. Uhler, S. J. Wright // *SIAM Review*, 55(4):671-706, 2013.
3. Donev, A. Improving the density of jammed disordered packings using ellipsoids / A. Donev, I. Cisse, D. Sachs, E. Variano, F. H. Stillinger, R. Connelly, S. Torquato, P. M. Chaikin // *Science*, 303(5660):990-993, 2004.
4. Bezrukov, A. Simulation and statistical analysis of random packings of ellipsoids / A. Bezrukov, D. Stoyan // *Particle & Particle Systems Characterization*, 23:388-398, 2007.
5. Kallrath, J. Packing ellipsoids into volume-minimizing rectangular boxes / J. Kallrath // *Journal of Global Optimisation*, 67 (1-2), 151-185, 2017.
6. Chernov, N. Mathematical model and efficient algorithms for object packing problem. N. Chernov, Y. Stoyan, T. Romanova // *Computational Geometry: Theory and Applications*. 2010. 43(5). P. 535-553.
7. Stoyan, Y. Quasi-phi-functions and optimal packing of ellipses / Y. Stoyan, A. Pankratov, T. Romanova // *Journal of Global Optimisation* *Journal of Global Optimisation*, 65 (2), 283–307. 2016.
8. Stoyan, Yu.G. Covering a convex 3D polytope by a minimal number of congruent spheres / Yu.G. Stoyan, V.M. Patsuk // *International Journal of Computer Mathematics* Volume 91,- Issue 9 2010-2020, 2014.
9. Antoshkin, O. Construction of optimal wire sensor network for the area of complex shape. / O. Antoshkin, A. Pankratov // *Eastern-European journal of enterprise technologies* . – 2016. - № 6(4). – С. 45-53.
10. Birgin, E.G. Packing circles within ellipses / E.G. Birgin, L.H. Bustamante , H. F. Callisaya, J.M. Martínez // *International 2013 Transactions in Operational Research* 20, 365-389.

Надійшла до редколегії 26.12.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Т.С. Романова, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків.

## УПАКОВКА ЕЛІПСОЇДІВ У ВИПУКЛОМУ КОНТЕЙНЕРІ

Ю.С. Панкратова, О.М. Хлуд, В.М. Пацук

Розглядається задача оптимальної упаковки заданого набору нерівних еліпсоїдів в довільному випуклому контейнері мінімальних розмірів. Для опису обмежень неперетину, належності та мінімально допустимих відстаней будуються  $\rho$ -функції та квазі- $\rho$ -функції. Пропонується релаксаційний підхід, пов'язаний з побудовою  $\rho$ -функції для обмеження належності, щоб уникнути рівнянь степенів вище чотирьох. Формулюється задача упаковки у формі задачі нелінійного програмування та пропонується метод рішення, що дозволяє шукати локально-оптимальні упаковки. Надаються обчислювальні результати, ілюстровані рисунками.

**Ключові слова:** упаковка, еліпсоїди, опуклі контейнери, обмеження неперетину, квазі- $\rho$ -функції, нелінійна оптимізація.

## УПАКОВКА ЕЛЛИПСОИДОВ В ВЫПУКЛОМ КОНТЕЙНЕРЕ

Ю.Е. Панкратова, О.М. Хлуд, В.Н. Пацук

Рассматривается задача оптимальной упаковки заданного набора неравных эллипсоидов в произвольном выпуклом контейнере минимальных размеров. Для описания ограничений непересечения, принадлежности и минимально допустимых расстояний строятся  $\rho$ -функции и квази- $\rho$ -функции. Предлагается релаксационный подход для того, чтобы избежать появления уравнений степеней выше четырех при построении  $\rho$ -функций для ограничений принадлежности. Формулируется задача упаковки в форме задачи нелинейного программирования и предлагается метод решения, позволяющий искать локально-оптимальные упаковки. Предоставляются вычислительные результаты, иллюстрированные рисунками.

**Ключевые слова:** упаковка, эллипсоиды, выпуклые контейнеры, ограничения непересечения, квази- $\rho$ -функции, нелинейная оптимизация.

О.М. Петровський<sup>1</sup>, Є.В. Гаврилко<sup>2</sup>, Д.О. Петровська<sup>1</sup>, С.Є. Сідоров<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

<sup>2</sup> Державний університет телекомунікацій, Київ

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ СУЧАСНИХ ПРОЦЕСОРІВ

*Проведено аналіз сучасних процесорів, а саме їх конструкцій та принципів роботи. Розглянуті системи охолодження сучасної обчислювальної техніки. На основі будови процесорів та принципів їх роботи визначені режими нагрівання та теплопередачі в оточуюче середовище. Зроблене порівняння систем охолодження інтегральної мікросхеми. Запропонована фізико-математична модель процесу перерозподілу тепла в внутрішній структурі процесора на основі рівняння теплового балансу і рівняння теплопровідності Фур'є. Розроблена математична модель дозволила аналізувати температурні режими роботи процесорів з метою зниження температури нагрівання напівпровідникових кристалів їх внутрішньої структури, а також удосконалення процесу тепловідведення і технічних засобів систем охолодження.*

**Ключові слова:** центральний процесор, система охолодження, рівняння теплопровідності Фур'є, програмування.

### Вступ

Останнім часом гонка продуктивності настільних ПК піднялася на новий рівень. Зростають тактові частоти, обчислювальні потужності, перехід на багатоядерну архітектуру і впровадження архітектури  $\times 64$  покликане підняти продуктивність ПК на новий рівень. При збільшенні тактових частот відповідно збільшується тепловиділення електронних компонентів. Так як у електронних схем працездатність забезпечується при вузькому діапазоні температур, то збільшення тепловиділення не може відбуватися нескінченно [1]. Для вирішення цієї проблеми є два шляхи: по-перше, впровадження нових процесорних архітектур, технологічних процесів, що дозволяє знизити тепловиділення, але при появі наступних процесорів відповідного сімейства ця перевага втрачається. Існує другий шлях – удосконалити системи охолодження процесорів. Саме в цьому напрямку зараз йде більшість виробників процесорів. За останні кілька років еволюція систем охолодження пройшла шлях від радіаторів, якими задовольнялися процесори Intel 80486 до сучасних систем охолодження на основі теплових нанотрубок.

**Мета досліджень.** Аналіз роботи процесора, його архітектури, будови та принципів роботи систем тепловідведення і примусового охолодження. Розробка фізико-математичної моделі теплових режимів роботи процесорів на основі рівняння теплопровідності Фур'є з подальшим його аналізом і програмною реалізацією.

**Аналіз літературних джерел.** Процесор, або більш повно мікропроцесор, (CPU - central processing unit) є центральним компонентом комп'ютера. Це розум, який керує, прямо або побічно, всім, що відбувається всередині комп'ютера [2].

Сьогодні, понад півстоліття опісля створення перших процесорів, майже всі вони мають фон-Нейманівську архітектуру.

Основні функціональні компоненти процесора.

Ядро. Центр процесора - виконуючий модуль, який має два паралельних цілочисельних потоки, що дозволяють читати, інтерпретувати, виконувати й відправляти дві інструкції одночасно. Має найбільшу частоту операцій, а відповідно екстремальний температурний режим.

Провісник розгалужень: Модуль пророкування розгалужень намагається вгадати, яка послідовність буде виконуватися щораз коли програма містить умовний перехід, так щоб пристрої попередньої вибірки й декодування одержували б інструкції готовими заздалегідь [3,4].

Блок з плаваючою точкою. Третій модуль, що виконує всередині нецілочисельне обчислення.

Первинний кеш. Має два внутрішньочіпових кешів по 8kb, по одному для даних і інструкцій.

Шинний інтерфейс: приймає суміш коду і даних в CPU, розділяє їх по готовності до використання, і знову з'єднує, відправляючи назовні.

Всі елементи процесора синхронізуються з використанням тактової частоти, яка визначає швидкість виконання операцій. Найперші процесори працювали на частоті 100 kHz, сьогодні звичайна частота процесора – 3500 MHz, інакше кажучи, вони виконують 3,5 мільярдів операцій в секунду, а кожна операція спричиняє за собою виконання багатьох дій.

Лічильник Команд (PC) - внутрішній покажчик, що містить адреси наступної виконуваної команди. Коли приходить час її виконання, керуючий модуль поміщає інструкцію з пам'яті в регістр інструкцій (IR). У той же самий час лічильник команд збільшується, так щоб вказувати на наступну інструкцію, а



процесор виконує інструкцію в IR. Деякі інструкції управляють самим керуючим модулем, так якщо інструкція говорить перейти на адресу 2749, величина 2749 записується в лічильник команд, щоб процесор виконував цю інструкцію наступною[5]. Таким чином маємо багатомодульність і багатопроецесність обчислювальних дій, що супроводжується споживанням електричної енергії певної частоти, а відповідно до закону Джоуля-Ленца виділенням теплової енергії з наступним перерозподілом її в оточуюче середовище[6].

Серед найбільш важливих характеристик процесора можна перерахувати такі:

- компанія-виробник;
- тип роз'єму, до якого можна підключити такий процесор;
- швидкодія процесора;
- його модель.

Найважливішою характеристикою процесора є швидкодія, яка з точки зору як продуктивності так і теплових режимів роботи – основна. Перш за все, слід визначитися з поняттям такту. Отже, одна математична або логічна операція виконується процесором за 1 такт, таким чином, кількість тактів в одиницю часу визначає кількість виконуваних процесором операцій. Відомо, що частота в 1 Hz відповідає 1 коливанню в секунду. У комп'ютерних технологіях 1 електричне коливання відповідає одному такту процесора. Таким чином, при частоті електричних коливань в 1 Hz процесор виконував би 1 математичну або логічну операцію в секунду. Частота електричних коливань, що задає швидкість роботи CPU, називається тактовою частотою процесора. При тактовій частоті в 1 MHz процесор вже здатний виконувати мільйон операцій за секунду, при частоті в 100 MHz – 100 млн операцій. Проводячи нескладну аналогію, можна сказати, що тактова частота подібна оборотами двигуна автомобіля (чим вони вищі, тим більшу потужність розвиває мотор), або метроному, який підказує музикантові швидкість програвання мелодії. Тактова частота сучасних процесорів може досягати 1, 2 або навіть 5 GHz, тобто подібні процесори здатні виконувати кілька мільярдів операцій в секунду. Чим вище тактова частота, тим вище продуктивність і швидкодія процесора. З іншого боку частоти вище 1 GHz це так званий надвисокочастотний (НВЧ) діапазон електромагнітних коливань якому властиве інтенсивне виділення тепла тілами, що задіяні в таких процесах. По суті процесор працює в режимі мікрохвильової печі (частота коливань СВЧ-печі складає 2840 MHz).

Кількість теплоти, що виділяється в комп'ютері залежить не тільки від тактової частоти процесора, хоча ця характеристика є основною і вирішальною під час проектування системи охолодження, але і від загального вмісту системного блоку, від його енер-

госпоживання. Це зовсім не означає, що охолоджувати потрібно абсолютно всі задіяні складові системного блоку. Але сучасні центральні процесори і процесори відео адапторів без охолодження ніяк не можуть обійтися, інакше неминуче їх руйнування в наслідок нагріву[7-10].

Від тепловиділення, на жаль, нікуди не дітися, але ж ця проблема має чимало рішень. Інше питання яким чином доцільно охолоджувати в конкретному випадку для певного процесора. На даний момент існує досить багато систем охолодження, всі вони використовують загальний принцип дії - перенесення тепла від більш гарячого тіла (охолоджуваного об'єкта) до менш гарячого (системи охолодження). Розглянемо наступні системи:

Кулер це сукупність радіатора і вентилятора, що встановлюється на електронні компоненти комп'ютера з підвищеною тепловіддачею.

Система рідинного охолодження - це така система охолодження, в якості теплоносія в якій виступає рідина з високою теплоємністю. Вода в чистому вигляді рідко використовується в якості теплоносія (пов'язано це з електропровідністю і корозійною активністю води), частіше це дистильована вода (з різними добавками антикорозійного характеру), іноді - масло, інші спеціальні рідини.

Серед нестандартних систем охолодження можна відзначити одну дуже ефективну систему - на основі елементів Пельтьє.

Не дуже поширений, але дуже ефективний клас систем охолодження – системи з холодоагентом в яких використовують фреони.

Також є системи, в якості холодоагенту в яких використовується рідкий азот. Рідкий азот являє собою прозору рідину, без кольору і запаху, температурою кипіння (при нормальному атмосферному тиску) якої дорівнює -195,8 градусів за Цельсієм. Для зберігання рідкого азоту застосовують спеціальні резервуари - судини Дьюара об'ємом від 6 до 40 літрів. Установки даного типу призначені тільки для екстремального охолодження, в екстремальних умовах. Одним словом, при розгоні тобто надмірному збільшенні тактової частоти.

На сьогоднішній день не існує проблеми охолодження, як такої, а існує проблема відбирання і перенесення тепла від поверхні процесора в навколишнє середовище. До систем охолодження пред'являються високі і часом взаємовиключні вимоги: вони повинні бути ефективними, безшумними, недорогими[3-5].

Таким чином є доцільним створення фізико-математичної моделі теплових режимів процесорів яка є необхідною при проектуванні процесорів і систем охолодження комп'ютерів. Модель може бути реалізована за допомогою мови програмування C++ в середовищі Microsoft Visual Studio [1].

## Основні результати досліджень

Процесор під час роботи нагрівається нерівномірно, крім того він контактує з навколишнім середовищем і віддає частину теплоти. Таким чином, спостерігається явище нерівномірності розподілу температур, а відповідно – процес теплопровідності.

У загальному випадку температура  $T$  у різних точках тіла змінюється з часом і за просторовими координатами. Цей процес може бути представлений загальною формулою [6]:

$$T = f(x, y, z, t), \quad (1)$$

де  $x, y, z$  – координати точки;  $t$  – час.

Вигляд функції  $f$  визначається за допомогою диференційного рівняння теплопровідності Фур'є, яке в загальному випадку має вигляд

$$\frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T(x, y, z, t) + q, \quad (2)$$

де  $T(x, y, z, t)$  – температура в точці координатами  $x, y, z$  в час  $t$ , К;  $\alpha$  – коефіцієнт температуропровідності,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\nabla^2$  – диференційний оператор Лапласа;  $q$  – кількість теплоти, що виділяється в одиниці об'єму за одиницю часу,  $\text{Вт}/\text{см}^3$ .

У процесі роботи інтегральна мікросхема знаходиться у спеціальній ніші, яка називається сокетом закриваючий бокові стінки по периметру, тому теплопередачу через бокові поверхні можна знехтувати. В такому випадку функція розподілу температур у процесорі буде залежати тільки від однієї координати і має вигляд [11]:

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} + q. \quad (3)$$

Нехай загальна площа процесора, що знаходиться під радіатором, має товщину  $2l$ . Координати торцевих країв поверхні інтегральної мікросхеми, відповідно,  $x_1 = -l$  і  $x_2 = +l$ .

Умови теплообміну на краях процесора повинні відповідати крайовим умовам Ньютона:

$$\begin{aligned} \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=-l} &= h(T|_{x=-l} - T_0), \\ -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=+l} &= h(T|_{x=+l} - T_0), \end{aligned}$$

де:  $\lambda$  – ефективний коефіцієнт теплопровідності процесора,  $\text{Дж}/\text{см} \cdot \text{К}$ ;  $h$  – коефіцієнт теплообміну на краях процесора,  $\text{Вт}/(\text{см}^2 \cdot \text{К})$ ;  $T_0$  – температура зовнішнього середовища, К.

Для розв'язку задачі теплопровідності далі зручно вести відлік температур від температури навколишнього середовища. У цьому випадку крайові умови мають вигляд [6, 11]:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=-l} = hT|_{x=-l}, \quad (5)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=+l} = hT|_{x=+l}, \quad (6)$$

де  $T$  – перевищення температури над температурою навколишнього середовища, К.

Розв'язок задачі має остаточний вигляд

$$T(x, t) = \frac{2Pt l}{\lambda S} \left[ \frac{1}{4} \left( 1 - \frac{x^2}{l^2} \right) + \frac{\lambda}{2lh} \cos \left( \gamma_n \frac{x}{l} \right) \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\gamma_n^2 \cdot \tau / l^2} \sin \gamma_n}{\gamma_n^3 (1 + \sin(2\gamma_n) / (2\gamma_n))} \right], \quad (7)$$

де  $\gamma_n$  – позитивні корені рівняння;  $P$  – потужність, що виділяється в процесорі, Вт;  $S$  – площа поверхні процесора за координатою  $x$ ,  $\text{м}^2$ ;

$$\begin{aligned} \text{tg} \gamma &= lh/\gamma \quad (\gamma_1 < \gamma_2 < \dots); \\ \tau &= \frac{\lambda t}{c\rho}, \end{aligned}$$

де  $c$  – питома теплоємність,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;  $\rho$  – густина середовища,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Аналіз рішення (7) показує, що воно задовольняє початковій умові  $T|_{t=0} = 0$ . Для радіатора центрального процесора, коли  $x = 0$ , вираз (7) приймає вигляд

$$T(0, t) = \frac{2Pt l^2}{\lambda l S} \left[ \frac{1}{4} + \frac{1}{2lh} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-\gamma_n^2 \cdot \tau / l^2} \sin \gamma_n}{\gamma_n^3 \left( 1 + \frac{\sin 2\gamma_n}{2\gamma_n} \right)} \right]. \quad (8)$$

Практичне застосування вказаного методу має певні незручності, оскільки потребує вирішення трансцендентного рівняння, а також визначення необхідної кількості членів суми, що треба отримати в рівнянні, для забезпечення необхідної точності результатів.

У такому випадку для чисельних розрахунків використовується метод кінцевих різниць. Сутність методу полягає в заміні неперервних величин дискретними значеннями

$$(4) \quad x_j, j = 0, 1, 2, \dots, n, \quad t_i, i = 0, 1, 2, \dots, m.$$

Введення дискретних значень приводить до наступних наближених формул відповідних похідних.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_{i=1,j} - T_{i,j}}{\Delta t}, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= \frac{(T_{i,j+1} - T_{i,j}) / \Delta x - (T_{i,j} - T_{i,j-1}) / \Delta x}{\Delta x} = \\ &= (T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}) / \Delta x^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Внаслідок цього розв'язок рівняння (3) можемо одержати за рахунок обчислення наступного рівняння:

$$T_{i+1,j} = T_{i,j} + \left( \alpha \left( \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{\Delta x^2} \right) + q \right) \Delta t. \quad (11)$$

з урахуванням крайових умов:

$$\frac{T_1}{\Delta x} = h'T_1, \quad \frac{T_n}{\Delta x} = -h'T_n.$$

Стійкість рішення задачі здійснюється тільки за умови

$$\Delta t < \frac{\Delta x^2}{2\alpha}. \quad (12)$$

Для проведення чисельних розрахунків необхідно попередньо визначити ряд параметрів: середню питому теплоємність, коефіцієнт теплообміну Ньютона, коефіцієнт теплопровідності.

Числові значення розподілу температур у процесорі можуть бути обраховані за допомогою розглянутої моделі методом кінцевих різниць, використовуючи розроблену комп'ютерну програму (рис. 1).

Максимального значення температура досягає в середньому шарі кристалів процесора, причому максимальна температура прямо пропорційна потужності і частоті.

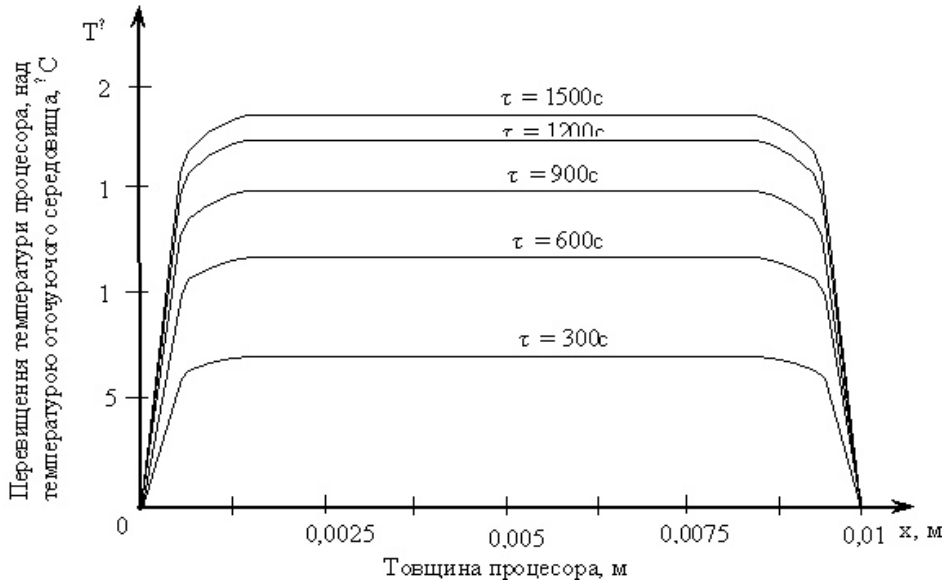


Рис. 1. Розподіл температур в процесорі за різного часу роботи

Згідно з аналізом моделі температурного режиму, за достатньої тривалості роботи ( $t \rightarrow \infty$ ) температура процесора  $T$  досягає свого максимального

значення і далі практично не змінюється. Цей висновок ілюструється результатами, представленими на рис. 2.

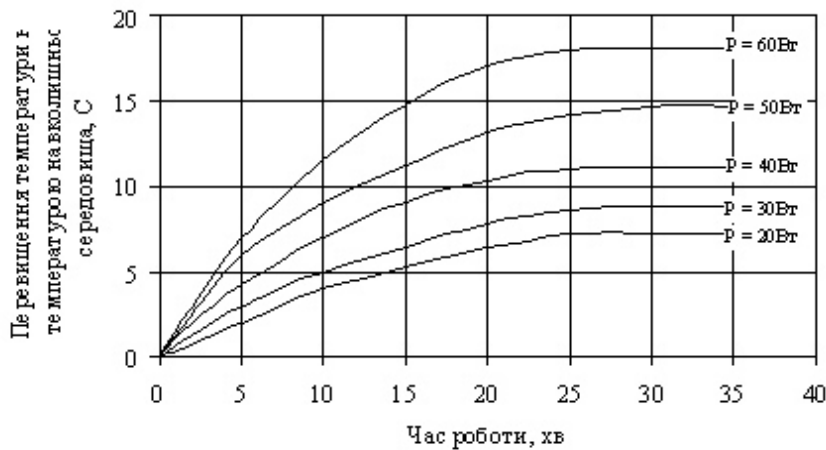


Рис. 2. Температура процесора за різних потужностей

Вони достатньо добре можуть бути апроксимовані рівнянням

$$T = T_{\infty} \left( 1 - e^{-t/t_0} \right), \quad (13)$$

де  $T_{\infty}$  – асимптотичне значення температури, коли ( $t \rightarrow \infty$ ), К;

$t_0$  – коефіцієнт, який має розмірність часу, тобто секунди.

Температура  $T_{\infty}$  відповідає усталеному режиму, в тому випадку, коли одержане тепло і його втрати рівні.

### Висновки

Проведений аналіз центральних процесорів та їх систем охолодження засвідчив необхідність інтерпретації і теоретичного дослідження фізичних процесів теплових режимів їх роботи з подальшою реалізацією математичної моделі.

Розроблена фізико-математична модель розрахунку теплових режимів роботи процесорів на основі рівняння теплового балансу і рівняння теплопровідності Фур'є, яка враховує будову, конструктивні особливості розміщення, умови застосування та принципи тепловідведення.

Запропонована фізико-математична модель дозволяє визначити теплові режими процесорів за різної тривалості роботи і при різній потужності навантаження.

Проведені чисельні розрахунки зміни температури процесора за тривалості роботи від 300 до 1500с, а також при зміні потужності навантаження 20, 30, 40, 50, 60 Вт.

Теоретично доведено, що при будь-якій величині навантаження температура процесора змінюється за експоненціальним законом і він виходить на усталений режим роботи за 25 – 30 хв.

Зменшення температури всередині процесора можливе лише за рахунок більш інтенсивного тепловідведення, що можливо реалізувати застосовуючи матеріали з високим коефіцієнтом температуропровідності і використовуючи системи активного охолодження.

### Список літератури

1. Компания MySQL AB. MySQL. Руководство администратора. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. — 624 с.
2. Бруно Бабэ. Просто и ясно о Borland C++: Пер. с англ. - Москва: БИНОМ, 1994. 400с.
3. Скляр В.А.. Язык C++ и объектно-ориентированное программирование: Справочное издание. - Минск: Вышэйшая школа, 1997. 480с.
4. Мураховський В. І. Залізо ПК. Нові можливості. СПб.: Питер, 2005. 324с.
5. Світ ПК серпня 2005 мікропроцесори сьогодні і завтра. Лоусон Б., Шарп Р. Изучаем HTML5. Библиотека специалиста. — СПб.: Питер, 2011. — 272 с.
6. Яворский Б. М. Справочник по физике : [для инженеров и студентов вузов] / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф : [издание четвертое, переработанное]. — М. : Наука, 1968. — 939 с.
7. Вамберский М. В. Передающие устройства СВЧ : [учеб. пособие для радиотехнич. спец. вузов] / М. В. Вамберский В. И. Казанцев: [под ред. М. В. Вамберского]. — М. : Высшая школа, 1984. — 448 с.
8. Гусев В. Г. Электроника / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. — М. : Высшая школа, 1991. — 622 с.
9. Горбачев Г. Н. Промышленная электроника : [учебник для вузов] / Г. Н. Горбачев, Е. Е. Чаплыгин. — М. : Энергоатомиздат, 1988. — 320 с.
10. Грабовски Б. Справочник по электронике / Богдан Грабовски : [пер. с фр. А. В. Хаванов. — 2-е изд., испр.]. — М. : ДМК Пресс, 2009. — 416 с.
11. Уваренков И.М. Курс математического анализа [в 2 т.] : [учебное пос. для физико-математических факультетов педагогических институтов] / И.М. Уваренков, М.З. Малер. — Т. 2. — М. : Просвещение, 1976. — 479 с.

Надійшла до редколегії 11.12.2017

**Рецензент:** д-р. техн. наук, проф. Л. І. Леві, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ СОВРЕМЕННЫХ ПРОЦЕССОРОВ

А.Н. Петровский, Е.В. Гаврилко, Д.А. Петровская, С.Е. Сидоров

*Проведен анализ современных процессоров, а именно их конструкций и принципов работы. Рассмотрены системы охлаждения современной вычислительной техники. На основе строения процессоров и принципов их работы определены режимы нагрева и теплопередачи в окружающую среду. Проведено сравнение систем охлаждения интегральной микросхемы. Предложенная физико-математическая модель процесса перераспределения тепла в внутренней структуре процессора на основе уравнения теплового баланса и уравнения теплопроводности Фурье. Разработанная математическая модель позволила анализировать температурные режимы работы процессоров с целью снижения температуры нагрева полупроводниковых кристаллов их внутренней структуры, а также совершенствования процесса теплоотвода и технических средств систем охлаждения.*

**Ключевые слова:** центральный процессор, система охлаждения, уравнение теплопроводности Фурье, программирование.

### MATHEMATICAL MODELING AND SOFTWARE REALIZATION OF CALCULATION OF THERMAL MODES OF MODERN PROCESSORS

O.M. Petrovskiy, E.V. Gavrillko, D.O. Petrovska, S.E. Sidorov

*The analysis of modern processors, namely their designs and operating principles, is carried out. The cooling systems of modern computer technology are considered. On the basis of the structure of the processors and the principles of their operation, the modes of heating and heat transfer into the environment are determined. The cooling systems of an integrated microcircuit are compared. The proposed physicomathematical model of the process of heat redistribution in the internal structure of the processor is based on the heat balance equation and the Fourier heat equation. The developed mathematical model allowed analyzing the temperature modes of operation of processors in order to reduce the temperature of heating of semiconductor crystals of their internal structure, as well as to improve the heat removal process and the technical means of cooling systems.*

**Keywords:** central processor, cooling system, Fourier heat equation, programming.

С.М. Бабіч, Д.В. Гриньов

*Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Харків*

## МЕТОД КЛАСИФІКАЦІЇ ЗАПИТІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРВІСУ ПІДПРИЄМСТВА

*У статті розглянуті основні методи аналізу роботи першої лінії підтримки інформаційного сервісу підприємства за технологією ІТІЛ. Проаналізовані фактори, що впливають на ефективність роботи команди підтримки та бізнес-процесу у цілому. Представлені висновки з можливої оптимізації процесу для найбільш ефективної взаємодії користувачів та сервісного центру.*

**Ключові слова:** технологія ІТІЛ, перша лінія підтримки, сервісний центр підприємства, оптимізація взаємодії користувачів та служби підтримки, запити.

### Вступ

**Проблематика.** Після початку активної комп'ютеризації підприємств, стало актуальним питання підтримки контролюючих систем. Так з'явилися спеціалісти підтримки, або аналітики підтримки. Їх задача полягає не тільки у тому, аби система працювала, а й у втіленні її оптимізації та оновлення для підтримки актуальності та сучасності.

Важливою складовою роботи такого спеціаліста є комунікація з користувачами. Для регулювання відносин “користувач - аналітик” використовуються різноманітні фреймворки.

У даній статті розглядатимемо найпоширеніший - ІТІЛ.

ІТІЛ – бібліотека інфраструктур інформаційних технологій, що функціонує на базі процесного підходу до вирішення задач та орієнтується на своєчасне їх виконання. Оцінка діяльності проводиться за основним показником ефективності або КРІ.

ІТІЛ, по суті, являє собою набір публікацій, що містять рекомендації щодо надання якісних послуг, а також процесів і компонентів, необхідних для їх підтримки. Основна мета ІТІЛ - просування сучасних знань і обмін досвідом в області. Основна особливість ІТІЛ - організація управління послугами у вигляді сукупності процесів.

Нині ІТІЛ є найбільш відомою базою знань в області Управління послугами в усьому світі і відображає фундаментальні основи провідних світових практик в ІТ-галузі [1].

У складовій даної бібліотеки міститься три рівні підтримки:

перша лінія - приймає запити, вирішує найпростіші задачі, розподіляє запити між другою та третьою лініями;

друга лінія - приймає запити від першої, вирішує локальні задачі, при необхідності, контактує з користувачем;

третья лінія - приймає запити від першої, вирішує глобальні задачі.

В основі управління першочерговості виконання задач полягають вид запиту, сервіс та його пріоритет. Саме за цими показниками розраховується необхідний час для вирішення та у деяких випадках визначається відповідальна команда.

Сервіс - спосіб надання цінності замовникам через сприяння їм в отриманні результатів на виході, яких замовники хочуть досягти без володіння специфічними витратами і ризиками [2].

Замовник - це покупець товарів або послуг. Замовник для постачальника ІТ-послуг - це людина (група людей), який укладає угоди з постачальником на надання ІТ-послуг і відповідає за те, щоб надані послуги були оплачені.

Постачальник послуг - це організація, яка постачає послуги одним або декількома внутрішніми або зовнішніми замовниками.

Виділяють також користувачів послуг. Користувач - це співробітник організації, що використовує ІТ-послугу для виконання повсякденної роботи.

Результати на виході (outcomes) - те, що отримує замовник зрештою. Необхідно розуміти, що на практиці вони відрізняються від того, що хоче отримати замовник спочатку, зважаючи на наявність певних обмежуючих факторів.

Спрощуючи призначення послуг, можна сказати, що вони допомагають поліпшити результати на виході шляхом збільшення продуктивності і зменшення існуючих обмежень. Результатом застосування послуг є збільшення ймовірності отримання бажаних результатів на виході.

Моделі послуг, які пропонує ІТІЛ, допомагають керувати складнощами, витратами, гнучкістю і різноманіттям в ІТ-галузі. Кожна модель має безліч варіантів використання в залежності від конкретного випадку, що робить ідею її застосування універсальною, гнучкою й ефективною [1].

Найпоширенішою проблемою є невірна класифікація запиту, що призводить до невірного розрахунку часових меж або помилкового призначення на команду, що не відповідає за обраний сервіс або має недостатньо компетенцій для вирішення проблеми. Як наслідок, низький рівень задоволеності користувачів та пониження показників ефективності команд.

## Основний матеріал

Пріоритетним показником якості підтримки високонавантажених систем, зазвичай, обирається час реагування відповідальної команди та вирішення задачі [3, 4]. У залежності від критичності системи, що відноситься до запиту, часові рамки можуть варіюватися від години до двадцяти робочих днів.

Найголовніша цінність такого підходу – вчасність, що впливає на основний показник ефективності роботи. Отже, рівень ефективності роботи команди, або KPI, розраховується за формулою:

$$KPI = \frac{\text{Нормативна кількість днів на виконання}}{\text{Фактична кількість днів на виконання}} \cdot 100\%$$

Наведена формула є загальною та доповнюється на вимогу. Найчастіше, доповнення являє собою коефіцієнт важливості системи, що впливає на допустимий рівень результату KPI. Коефіцієнти пріоритетності розраховуються за рівнем критичності систем, розбиваються на кількість підтримуваних сервісів та у сумі складають одиницю.

Такі показники розраховуються за висновками наскільки залежить корисний результат діяльності підприємства від стабільної роботи конкретної системи.

Слід зауважити, що випадок падіння KPI до критичної точки вважається фактом невиконання обов'язків зовсім. Отже, відмітка в 50% є критичною точкою для системи з нульовою часткою пріоритету. У залежності від коефіцієнту пріоритетності, описана критична точка змінюється і розраховується за формулою:

$$CP = 50 + k \cdot 100,$$

де  $k$  - коефіцієнт критичності системи.

Слідкуючи за показниками KPI можна контролювати рівень роботи сервісного центру, підтримуючи його на належному рівні. При різкому або довгостроковому зниженні показників ефективності слід провести аналіз існуючого процесу ви-

рішення запитів починаючи від його створення до закриття. За технологією ІТІЛ вживають три види запитів: запит на зміни, запит на інформацію та інцидент (рис. 1).

Інцидент - це незаплановане переривання або зниження якості роботи системи [5].



Рис. 1. Види запитів

Запит на інформацію - звернення користувача за інформаційною допомогою.

Запит на зміни - звернення користувача, що заінтересований у підключенні додаткової послуги або створенні нової [6].

Процес управління інцидентами акцентується виключно на усунення наслідків збоїв в ІТ-послуги. Пошуком і аналізом причин виникнення інцидентів займається процес управління проблемами.

Робота з користувачами і реєстрація їх звернень до служби Service Desk - безпосередня частина процесу управління інцидентами.

Тому дуже часто в управління інцидентами включають також обробку запитів на обслуговування, які є частиною стандартних ІТ-послуг, що надаються користувачеві:

- зміна прав доступу,
- надання інформації,
- установки і оновлення стандартного набору ПЗ та ін.

Будь-які звернення користувачів, що не входять до складу раніше узгоджених ІТ-послуг, обробляються в рамках процесу управління змінами [5].

У залежності від типу запиту, змінюється базова допустима часова норма на реагування та його закриття.

Вид запиту визначається першою лінією підтримки за контекстом запиту та може бути перекласифікований другою чи третьою лініями за потреби або неспіввідності початкового типу запиту та потреб, що описані користувачем у тілі проблеми (табл. 1).

Слід зауважити, що інцидентом вважається така проблема, що заважає повноцінній роботі системи та загрожує зривом робочого процесу. Тому, при можливості, незначні поломки системи класифікують як запит на зміни.

Таблиця 1

## Класифікація запитів

Вид запиту	Ознака	Норма
Запит на інформацію	У тілі запиту міститься прохання надати інформацію, що стосується існуючих систем	80 год
Запит на зміни	У тілі запиту міститься опис задачі та шляхи вирішення зі сторони бізнесу	40 год
Інцидент	У тілі запиту є назва системи, опис проблеми та можливі причини виникнення	20 год

Отже, першою проблемою може бути невірний тип задачі, як наслідок, помилкові часові рамки. До цього може призводити недостатня компетентність як першої лінії підтримки, так і користувача, що є джерелом інформації.

Але найпоширеніша помилка приймаючої сторони - є обрання невірного сервісу та команди. Після чого відбувається етап повернення запиту на авангард та визначення компетентної сторони.

Це призводить до втрати часу з боку некомпетентної команди та мобілізація ресурсів через брак часу у відповідальній за даний сервіс команди.

Така ситуація є наслідком відсутності вказівки назви системи зі сторони користувача у запиті та неможливості визначити відповідну систему за описом зі сторони першої лінії підтримки. Оскільки, фреймворком не передбачено те, що авангард має знати досконало кожну з підтримуваних систем, шлях вирішення лягає на сторону бізнес-процесу.

За статистикою, лише кожен четвертий запит містить назву системи або чіткий опис того, що потребується, а отже, близько 75% усіх запитів з моменту їх написання потенційно становлять ризик бути такими, що виконаються з низьким показником ефективності.

Для уникнення двох вищеописаних проблем було розроблено доповнення до існуючої технології, що використовується на підприємстві. Документ містить у собі опис бізнес-процесу, що гарантує написання якісного запиту користувачем, та, як

наслідок, підвищує шанси на своєчасне його виконання. Суть доповнення у визначенні шаблонів описання проблем та задач, що усуне "вільний" формат запитів та, у цілому, стандартизує процес. Заповнення за правилами дасть можливість чітко розуміти проблему, сервіс, який причетний та пріоритетність задачі.

Для кожного виду є окремий шаблон, що лаконічно розкриває суть поставленої задачі. В ідеалі, аналітик підтримки другої лінії, після отримання шаблонного запиту, не матиме причин контактувати з користувачем, адже уся необхідна інформація вже буде "на руках".

Проте, у реаліях, для досягнення гарного результату, достатнім буде відсутність первинного контакту і наявність лише такого, що деталізує задачу.

Потрібно пам'ятати, що неможливо керувати тим, що неможливо зрозуміти, тому, навіть маючи гарний запит можна не розуміти поставленої задачі. Тому первинний контакт у нерутинних запитах займає дуже важливе місце для визначення усіх очікувань користувача та реальності виконання завдання [7].

Звісно, одразу після впровадження шаблонів, результат ефективності не стане блискучим, більш того, у період адаптації КРІ може навіть стати гірше. Але, з часом, коли користувачі звикнуть до нового процесу та самостійно будуть його вживати, КРІ нормалізується. Це так званий період адаптації.

Таблиця 2

## Шаблон запитів за типами

Вид запиту	Що має містити запит?
Запит на інформацію	Назва сервісу чи програми, що потрібно надати та у якому вигляді
Запит на зміни	Назва сервісу чи програми, що необхідно змінити або створити, чому це необхідно змінити створити, супроводжуючі скріншоти або вигляд змін
Інцидент	Назва сервісу або програми, скріншоти помилок чи несправностей, дата та час виявлення, що могло призвести (якщо така інформація наявна)

Тривалість такого періоду залежить від середнього віку та рівня комп'ютерної грамотності колективу користувачів.

Після запровадження шаблонів на реальному підприємстві, позитивні результати з'явилися через місяць, а через два - підвищення КРІ, у середньому, на 20 відсотків.

## Висновки

Таким чином, запровадження розширеної системи прийняття запитів за допомогою шаблонізації, у перспективі, усуває проблеми з помилковими призначеннями на команди, що не відповідають за системи, скорочує час на прояснення суті запиту та знижує відсоток запитів, що не мають навіть потрапляти у систему через відсутність предмету проблеми.

Взаємодія за описаним шаблоном сприяє покращенню компетенцій користувачів у системах, де вони працюють, адже, зазвичай, при описі проблеми працівник і сам починає краще розуміти логіку роботи програми, що у майбутньому допомагає при вирішенні проблем та усуненні можливості їх виникнення взагалі.

Підняття такого показника як КРІ роботи інформаційного сервісу позитивно впливає на роботу підприємства у цілому, на вдоволеність користувачів та підтримує здорову атмосферу у відносинах "користувач - аналітик". Також після запровадження описаної шаблонізації, стає ближчим ситуація, коли кожен відповідає за свою роботу і чим ближча ця ситуація, тим здоровіші відносини у колективі та успішніші результати загальної роботи підприємства.

Але слід мати на увазі, що зміни у процесах такого роду можуть зустрічати опір та невдоволення на початкових етапах. Таку ситуацію спричиняють звички користувачів, адже нова течія процесу

написання запитів передбачає майже повну самостійність зі сторони користувача під час опису проблеми та збільшує витрати часу саме під час написання запиту.

Для уникнення такої ситуації рекомендують проводити тренінги для адаптації працівників.

За належного менеджменту процесів, запровадження шаблонізації пройде з найменшими негативними наслідками та приведе до стабілізації роботи сервісного центру підприємства.

## Список литературы

1. Введення в ITIL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.intuit.ru/studies/courses/2323/623/lecture/13557>
2. Глосарій термінів та визначень ITIL V3 [Електронний ресурс] – Режим доступу: [http://itsmforum.ru/ZAM-test/ITILV3\\_Glossary\\_Russian\\_v092\\_2009.pdf](http://itsmforum.ru/ZAM-test/ITILV3_Glossary_Russian_v092_2009.pdf)
3. Рубан І.В. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / І.В. Рубан, Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Системи обробки інформації. – 2013. – № 7. – С. 106-112.
4. Бульба С.С. Создание комозитных приложений на основе распределённых сервисов / С.С. Бульба, Г.А. Кучук, Д.А. Лисица // Системи обробки інформації. – 2016. – № 1. – С. 144-147/
5. Управління інцидентами за ITIL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://itsm365.ru/blog/upravlenie-incidentami-incident-management-po-til/>
6. Инциденты та запити на обслуговування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://habrahabr.ru/post/159333/>
7. Процес управління інцидентами ITIL [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.itexpert.ru/rus/ITEMS/proces/>

Надійшла до редколегії 22.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ПЕРВОЙ ЛИНИИ ПОДДЕРЖКИ ИНФОРМАЦИОННОГО СЕРВИСА ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ ITIL

Д.В. Гринева, С.Н. Бабич

*В статье рассмотрены основные методы анализа работы первой линии поддержки информационного сервиса предприятия по технологии ITIL. Проанализированы факторы, влияющие на эффективность работы команды поддержки и бизнес-процесса в целом. Представлены выводы из возможной оптимизации процесса для наиболее эффективного взаимодействия пользователей и сервисного центра.*

**Ключевые слова:** технология ITIL, первая линия поддержки, сервисный центр предприятия, оптимизация взаимодействия пользователей и поддержки, запросы.

## METHODS OF WORK OPTIMIZATION ANALYSIS OF THE FIRST LINE SUPPORT GROUP BY THE ITIL FRAMEWORK

D.V. Grynova, S.M. Babich

*The article describes the basic methods of analyzing the efficiency of first-line support group by ITIL methodology. The analysis of the factors affecting the level of KPI and performance of support groups and business-processes. Findings on the needs for the process of optimization for the further user satisfaction.*

**Keywords:** ITIL technology, first line of support, enterprise service center, optimization of user interaction and support services, queries.



В.О. Гороховатський, Д.В. Пупченко, К. Г. Солодченко

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ, ХАРАКТЕРИСТИК ТА РЕЗУЛЬТАТІВ ЗАСТОСУВАННЯ НОВІТНІХ ДЕТЕКТОРІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВИХ ТОЧОК ЗОБРАЖЕННЯ

*Вирішується задача інваріантного розпізнавання візуальних об'єктів з використанням структурних методів на основі описів у вигляді множини особливих точок зображення. Проведено аналіз характеристик та засобів програмного моделювання сучасних методів ORB та BRISK для визначення особливих точок. Запропоновано метод бінарного аналізу для формування центрів класів та подальшої класифікації. Проведено програмне моделювання методу у порівнянні з мережею Кохонена, отримано підтвердження результативності розробленого методу для прикладної бази зображень.*

**Ключові слова:** комп'ютерний зір, структурне розпізнавання, особливі точки зображення, методи ORB, BRISK, метод бінарного аналізу, мережа Кохонена, база зображень, програмне моделювання, результативність класифікації.

### Вступ

На цей час у комп'ютерному зорі набули популярності та практичного застосування ряд методів розпізнавання візуальних об'єктів, що засновані на локальних прикметах зображення. Такі методи базуються на визначенні множини особливих точок (ОТ) та їх описові у вигляді числового чи бінарного вектора – дескриптора, що відображає вміст множини локальних околиць ОТ зображення [1-5]. Значення дескриптора, як правило, інваріантне стосовно групи геометричних перетворень об'єктів на зображенні (зміщення, поворот, масштабування), а кількість утворених дескрипторів, що формують опис, повинна бути достатньою для прийняття результативного рішення відносно розрізнення розпізнаваних об'єктів [1-5].

Можливості сучасних програмних бібліотек комп'ютерного зору, наприклад, Open CV, забезпечують вирішення ряду важливих практичних задач: аналіз вмісту зображень, пошук та розпізнавання заданих об'єктів, виявлення тексту, відстежування рухів об'єктів, виявлення спільних елементів на порівнюваних зображеннях, реалізація методів навчання для баз відеоданих тощо.

Етап розпізнавання при застосуванні таких методів полягає в обчисленні міри релевантності між описами об'єкта та еталона, що задані у вигляді множин дескрипторів. Такий підхід дає можливість комп'ютерній програмі працювати із візуальними образами подібно людині, зір якої теж ґрунтується на локальних прикметах зображення. Зважаючи, що основу підходу складають синтезовані описи, виникає нагальна необхідність провести порівняльний аналіз можливостей, властивостей та характеристик детекторів для виявлення ОТ та обчислення їх дескрипторів.

Історично раніше розроблено детектори SIFT (Scale Invariant Feature Transform) [8] и SURF (Speeded Up Robust Features) [9]. Вони дають можливість сформувати як множину координат ОТ, так і визначити їх дескриптори. Метод SURF при цьому набув порівняльно переважної популярності із-за поглибленого розроблення та забезпечує суттєво більшу швидкодію оброблення даних в процесі розпізнавання [3]. Однак, тривають цілеспрямовані спроби створення більш простих способів детектування ОТ, обчислення та порівняння дескрипторів, що забезпечують як достатній рівень інваріантності до спотворень, так і перевагу в швидкодії оброблення.

Метою роботи є вивчення властивостей та оцінювання ефективності сучасних детекторів ORB, BRISK для визначення особливих точок зображення при застосуванні їх у методах інваріантного розпізнавання візуальних об'єктів.

Задачами дослідження є розроблення методу та аналіз вибору параметрів та оцінювання характеристик детекторів особливих точок за критерієм результативності класифікації чи якості кластеризації ознак у прикладній базі еталонів.

### Методи ORB та BRISK

У роботі [1] запропоновано новітній метод ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF), який є модифікованою комбінацією методу FAST [4] для виявлення ОТ та визначенням дескриптора у вигляді бінарного рядка по методу BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Features) [5]. Метод FAST (Features from Accelerated Test) – один з найбільш поширених на практиці детекторів ОТ, визначається тим, що будує прості дерева рішень для класифікації пікселів на ОТ та решту.

На першому етапі для детектування ОТ будується масштабна гаусова піраміда зображення. По-

тім на кожному масштабному рівні визначаються екстремуми яскравості. Для цього застосовується алгоритм FAST, згідно з яким для кожної точки зображення формується коло деякого радіуса і підраховується число суміжних пікселів, що лежать на ньому і мають значення менше або більше яскравості її центру. Якщо таких точок знайдеться більше 75% від їх можливої кількості, то центр кола вважається кандидатом на роль ОТ.

Метод ORB використовує модифікацію FAST-9 (параметр радіусу аналізованого кола з пікселів дорівнює 9) для виявлення потенційних ключових точок, далі уточнює їх на підставі детектору кутів Harris та обчислює орієнтацію і дескриптори ОТ з використанням BRIEF. Для цього при поточному масштабі формується область і визначається її центр маси. Орієнтацію ОТ задає вектор, що направлений від координат ОТ до центру маси. Бінарний вектор дескриптора обчислюється шляхом порівняння набору яскравості пар точок всередині квадратного вікна, що центроване відносно координат ОТ та узгоджено з її орієнтацією. У квадратному вікні по заданому правилу вибирається набір пар точок, значення яскравості в яких порівнюються між собою. Якщо яскравість першої точки вища, то до відповідного елемента дескриптора записується 1, інакше – записується 0 [1, 6].

Зміст алгоритму ORB показує, що він менш вимогливий до обчислювальних ресурсів у порівнянні з іншими алгоритмами. Виграш у швидкості обчислень пояснюється простою процедурою побудови дескрипторів. ORB дає за результатами тестування помітний виграш у швидкодії при порівняльній або кращій точності, ніж SIFT та SURF [6].

У роботі [2] представлено метод BRISK (Binary Robust Invariant Scalable Keypoints), що є розвиненням SURF у плані подальшого удосконалення складових FAST та BRIEF. У цьому методі порівняно з ORB надають різні альтернативи форм маски для виявлення ключових точок. Використовується маска 9-16, яка для виконання FAST критерію аналізує 9 послідовних пікселів у 16-піксельному колі з метою, щоб вони були достатньо яскравішими або темнішими від центру. Для різноманіття масштабів застосовано також інші маски.

Враховуючи розташування ключових точок та відповідні значення масштабу, дескриптор BRISK складає дескриптор – двійковий рядок шляхом об'єднання результатів порівняльних тестів яскравості. Ідентифікується характерний напрямок кожної ключової точки, щоб отримати орієнтовано-нормалізовані дескриптори та забезпечити інваріантність до обертання.

Концепція дескриптора BRISK використовує шаблон шляхом аналізу точок, що розташовані рівномірно розподілено по колам, концентричним з ключовою точкою. Це забезпечує інтегрований ана-

ліз та високу швидкість оброблення чи зберігання. BRIEF-дескриптор тут забезпечує розпізнавання однакових ділянок зображення, знятих з різних точок зору.

Встановлення відповідності двох дескрипторів ORB чи BRISK – це обчислення їх відстані Хемінга: кількість бітів, відмінних у дескрипторах. Відповідні операції зводяться до побітової логічної дії XOR, що обчислюється дуже ефективно [2].

Відзначимо, що модульність побудови методів ORB, BRISK дає можливість вибрати довільний спосіб побудови детектора ОТ у поєднанні з будь-яким способом визначення дескриптора й навпаки, оптимізуючи бажану продуктивність вирішуваних задач [1-7].

У BRISK отримана порівняна з SIFT та SURF точність для розпізнавання зображень, але при цьому досягнута в декілька разів вища швидкодія реалізації [6]. Відзначимо, що на окремих тестових зображеннях точність детектування за допомогою BRISK значно вище, ніж з використанням SURF-дескрипторів.

Таким чином, основні переваги новітніх методів ORB та BRISK полягають у забезпеченні суттєво вищої швидкодії за рахунок спрощення процесу оброблення та побудови і використання дескриптора бінарного типу.

## Особливості розроблення програмних засобів

Програмна реалізація детекторів ORB та BRISK знайшла відображення у сучасних бібліотеках комп'ютерного зору, таких як OpenCV [6, 11, 12]. Функції цієї бібліотеки забезпечують:

- зберігання даних зображення;
- визначення ОТ на зображенні або серіях зображень;
- зберігання даних про ключові точки та дескриптори;
- порівняння ОТ та знаходження найкращих відповідностей для кожного дескриптора із набору запитів;
- виведення зображень та даних, отриманих після їх обробки.

Для ORB та BRISK є можливість управління числом виявлених ОТ. Для ORB на процес виявлення ОТ впливають показники:

- максимальна кількість збережених ОТ;
- масштабний коефіцієнт поділу піраміди, знаходиться в межах 1...2 та впливає на деталізацію оброблення зображення;
- обмежувач на кількість рівнів піраміди;
- розмір границі навколо вже визначеної ОТ, всередині якої нові ОТ не формуються;
- знайдений поріг для детектора Харіса, що використовується для класифікації і збереження найліпших ОТ.

Обчислення, аналіз та оброблення ОТ нами реалізовано у вигляді програмного засобу на основі модуля features2d до крос-платформної бібліотеки OpenCV 3.4, яку можна використати в операційних системах Windows, Linux, MacOS, Android, iOS. Програмна модель реалізована у вигляді засобу мовою C++ для використання в операційній системі Windows. Формат зображення - .png.

Бібліотека OpenCV написана мовою C++ і популярна за рахунок своєї відкритості та можливості безкоштовно використовуватися в навчальних та комерційних цілях. Також підтримується можливість використання бібліотеки у мовах програмування Python, Java, Ruby, Matlab, Lua та інших. Фактично, OpenCV – це набір типів даних, функцій і класів для обробки зображень алгоритмами комп'ютерного зору [11,12].

Зауважимо важливі для застосувань властивості детекторів ORB та BRISK. Так, метод ORB визначає значніші за розміром масиви ОТ у порівнянні з SURF, однак, при цьому його дескриптори часто скупчуються і не завжди відображають особливості об'єкту [3].

У BRISK є можливість управління числом ОТ. На кількість виявлених ОТ впливають такі показники, як поріг алгоритму FAST для різниці між інтенсивністю центрального пікселя та пікселями кола навколо нього; номер октави, що встановлює крок стиснення зображення; параметр масштабу для вибору околиці ОТ; радіуси для BRIEF (у пікселях), де взято зразки навколо ОТ; кількість точок для BRIEF при відборі зразків; мінімальний та максимальний пороги для пар точок при формуванні дескриптора та ін.

Дескриптори мають вид бінарного вектора розміром 256 для ORB та 512 для BRISK. Дескриптори кодуються у Open CV у вигляді типу uchar (unsigned char – тип даних в C++, використовують для зберігання символів, об'єм 8 біт, значення 0...255), а не в бітах. Вони зберігаються в матриці, де кількість рядків дорівнює числу виявлених дескрипторів, а число стовпців дорівнює 32 (256 бітів дескриптора трансформуються у 32 uchar).

Дескриптор ORB (два приклади) має вигляд, зображений на рис. 1, де одиниця позначена чорним кольором, а нуль – білим. Приклади дескриптора BRISK зображені на рис. 2.



Рис. 1. Гістограми для дескриптора ORB



Рис. 2. Гістограми для дескриптора BRISK

### Застосування детекторів ОТ для класифікації об'єктів

Розглянемо практичний приклад застосування детекторів ORB, BRISK для класифікації зображень, що містять візуальні об'єкти. На рис. 3 наведено приклади множини координат, отримані детекторами ORB, BRISK.

Нехай задано множину  $Z = \{Z^j\}_{j=1}^J$  ознак бази зображень, яку складають еталони ( $Z^j$  – еталон,  $J$  – число класів). На етапі попередньої обробки множину  $Z$  розбиваємо на скінчену кількість  $k$  кластерів  $M = \{M_i\}_{i=1}^k$ , так що  $M_i \cap M_d = \emptyset$ ,  $Z = \cup M_i$ ,

$M = Z$  [3]. Кожний з кластерів  $M_i$  характеризується центром  $m_i$ , для бази маємо кортеж центрів  $m = \{m_i\}_{i=1}^k$ .

Кластерування здійснює відображення еталонної множини ОТ в себе  $Z \rightarrow Z$ , причому кожна ОТ належить одному із кластерів.

Для цього застосуємо онлайн процедуру мережі Кохонена [3]. Нехай задана навчальна множина даних  $W = \{x \mid x \in R^n\}$ ,  $W \subseteq R^n$ , що складає набір дескрипторів ОТ бази еталонів. Тепер побудуємо кортеж  $k$  опорних (модельних) векторів  $M = \{m_i\}_{i=1}^k$ ,  $m_i \in R^n$ ,  $i = 1, \dots, k$ .

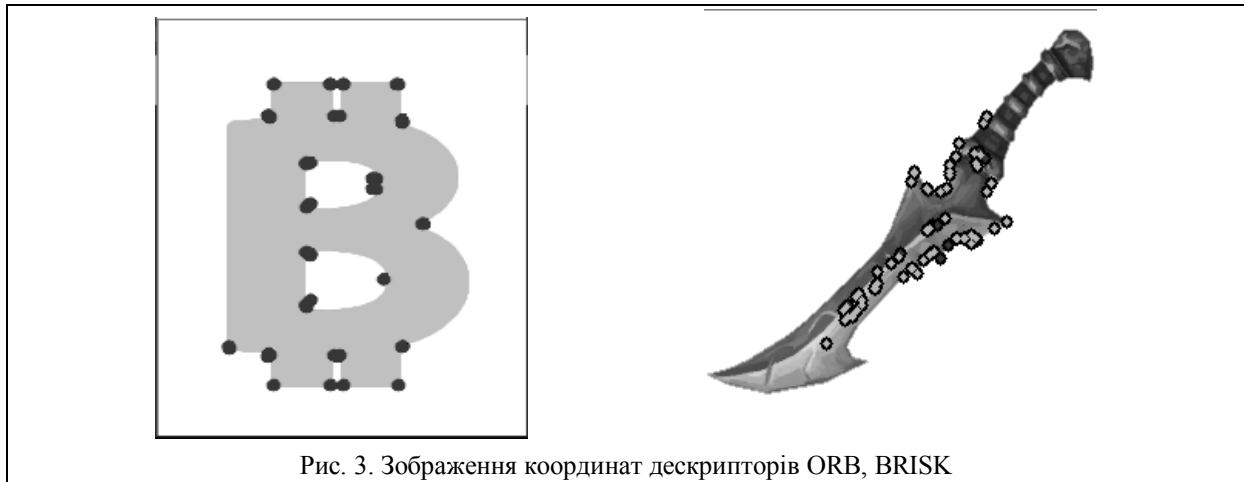


Рис. 3. Зображення координат дескрипторів ORB, BRISK

Для сформованого набору  $M$  апроксимація довільного вектора  $x \in W$  конкурентним способом означає визначення номера  $v$  найближчого до нього (у метриці  $\rho(x, m_i)$ ) вектора  $m_v \in M$  у просторі модельних векторів:

$$v = \arg \min_{i=1, \dots, k} \rho(x, m_i). \quad (1)$$

Модель (1) називають конкурентним навчанням Кохонена [1]. Для традиційного варіанту онлайн-навчання, якщо дескриптори ОТ  $x[t] \in W$  поступають по черзі, центр  $m_v$  кластера, який став переможцем в (1), на кроці  $t = 1, 2, \dots, s$  навчання коригується у відповідності до виразу

$$m_v[t+1] = m_v[t] + \alpha[t](x[t] - m_v[t]), \quad (2)$$

де  $s = \text{card } W$  – повний обсяг навчальної вибірки (загальне число ОТ бази зображень), а параметр  $\alpha[t]$  задається дослідником та визначає швидкість навчання, причому  $\alpha[t] \rightarrow 0$  при  $t \rightarrow s$ . Існує величезне різноманіття стратегій та технологій навчання (2), включаючи навіть моделювання динаміки топології мережі [3, 10].

Якість кластерування оцінюють значенням критерію похибки – усередненої суми квадратів відхилень від центрів сформованих кластерів

$$E = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^k \sum_{v=1}^{s(i)} \rho^2(x_v, m_i), \quad (3)$$

де  $s(i)$  – потужність  $i$ -го кластера [3].

У випадку, коли число  $k$  кластерів дорівнює числу еталонів бази зображень, кластерування виконує класифікацію на  $k$  класів у просторі  $W$ . Множина дескрипторів ОТ, що описує довільний візуальний об'єкт, може бути класифікована як один із еталонів.

Зауважимо, що якість класифікації зображень, як правило, оцінюється іншим критерієм, наприклад, значенням ймовірності правильного розпізнавання об'єктів.

Наряду з класифікацією на підставі мережі Кохонена розглянемо більш простий евристичний підхід бінарного аналізу, суть якого полягає в наступному.

1. Зважаючи на бінарний вид дескрипторів BRISK, для кожного з еталонів  $Z^i$  визначимо вектор  $m_i$  центра класу на підставі логічного правила як

$$m_i(b) = \begin{cases} 1, & \text{при } \sum_{d=1}^{s(i)} x_d(b) \geq s(i)/2, \\ 0, & \text{при } \sum_{d=1}^{s(i)} x_d(b) < s(i)/2, \end{cases} \quad (4)$$

$$x_d \in Z^i, \quad b = \overline{1, 12},$$

де  $x_d(b)$  – біт з номером  $b$  для дескриптора з номером  $d$  в описі еталона.

Таким чином значення кожного з бітів центру  $m_i$  для  $i$ -го класу визначається переважно більшістю значень відповідних бітів усіх дескрипторів ОТ, які належать еталону  $Z^i$ .

2. Аналізуємо елементи  $x \in Z$  спільного вмісту структурних описів бази еталонів (навчальна вибірка) шляхом віднесення їх до відповідного класу з використанням конкурентного способу (1). Тут у якості  $\rho(x, m_i)$  застосуємо метрику Хемінга

$$\rho(x, m_i) = \sum_{b=1}^{512} |x(b) - m_i(b)|, \quad (5)$$

що визначає кількість розбіжних бітів для двох двійкових послідовностей однакової довжини (детекторів ОТ).

У результаті оброблення для кожного еталона отримуємо його кластерне подання  $H[Z^i] = (h_1^i, \dots, h_j^i)$ , де  $h_a^i$  – цілі числа, яке відповідає розподілу елементів множини  $Z^i$  за класами еталонів.

Етап попередньої обробки на базі бінарного аналізу можна вважати різновидом хешування на множині дескрипторів ОТ еталону. Аналогічну обробку можна використати і для аналізу множини ORB-дескрипторів.

## Результати комп'ютерного моделювання

З використанням бібліотеки Open CV [11] у середовищі C++ нами розроблено програмну модель для класифікації зображень на підставі структурних описів, сформованих детектором BRISK. У якості бази еталонів застосовано набір із 5 зображень мечів (рис. 3).

Кількість виявлених ОТ в еталонах розміром  $256 \times 256$  коливалась у межах 51...75, загальна кількість ОТ бази (обсяг навчальної вибірки) дорівнювала 314. Центрами класів у відповідності до логіки (4) сформовано дескриптори для кожного із еталонів.

Застосовано підхід бінарного оброблення (етап 2), у результаті отримано матрицю розподілу ОТ по класах у вигляді табл. 1.

Таблиця 1  
Розподіл ОТ еталонів по класах

Еталони	Класи / Кластери				
	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>5</sub>
Z <sup>1</sup>	35	1	5	10	9
Z <sup>2</sup>	9	36	6	0	6
Z <sup>3</sup>	10	10	27	3	1
Z <sup>4</sup>	11	1	6	41	16
Z <sup>5</sup>	8	2	2	20	39

Як можна побачити із табл. 1, множина дескрипторів BRISK для даної бази зображень з використанням бінарного оброблення однозначно класифікує множину ОТ кожного з еталонів, так як в таблиці кількість ОТ, віднесених до певного класу – максимальна. Помилка (3) нами обчислювалась у варіанті

$$E_1 = \frac{1}{sN} \sum_{i=1}^k \sum_{v=1}^{s(i)} \rho(x_v, m_i), \quad (6)$$

де N – розмір дескриптора (512 чи 256), а замість квадрата метрики вибрано її значення для спрощення та приведення до інтервалу 0...1. Похибка (6) при цьому склала  $E_1 = 0,26$ .

Із табл. 1 бачимо також суттєве перевищення максимуму у рядку над найближчим максимумом: більше, ніж удвічі, що гарантує упевнене безпомилкове розпізнавання при віднесенні кожного з дескрипторів окремо у відповідності з конкурентним правилом.

При вирівнюванні числа ОТ в еталонах до величини 51 (усього 255 ОТ) шляхом відкидання точок, координати яких знаходяться поряд у структур-

рному описі, отримано аналогічний результат, похибка (6) склала  $E_1 = 0,28$ .

Як бачимо, похибка трохи виросла зі зменшенням числа ОТ при описові ідентичного набору еталонних об'єктів. Однак, якість класифікації при цьому збережена. Для порівняння з табл. 1 у останньому рядку таблиці отримано значення: 9, 2, 2, 12, 26, що підтверджує впевнену класифікацію, так як максимальний елемент відповідає зразку та у 2,2 рази перевищує найближчий із локальних максимумів. Загалом треба сказати, що детектор BRISK за рахунок суттєво інформативного значення розміру дескриптора, що дорівнює 512, гарантує досить детальне подання і можливість аналізу властивостей зображення з метою результативного розрізнення візуальних об'єктів.

Тепер виконаємо кластерування на конкретній множині дескрипторів для бази із 5 зображень еталонів (рис. 3), взявши за початкові центри по одному дескриптору із кожного еталону. Класифікація на 5 класів реалізована з використанням мережі Кохонена у варіанті, коли на кожному етапі навчання (2) модифікувався лише нейрон-переможець, при значенні  $\alpha[t] = 1/t$ .

Мережа Кохонена дала порівняні результати відносно величини похибки  $E_1 = 0,28$ , але спостерігалось дещо менший рівень перевищення максимального елемента над найближчим максимумом (до значення 0,6). Це говорить про необхідність застосування мір подібності інтегрального типу, що забезпечують надійне розпізнавання в цих умовах [3, 7].

Подальшого підвищення результативності мережі Кохонена можна досягти також застосуванням пакетного оброблення, так як база ОТ задана. Загалом мережа Кохонена має значно більше можливостей для адаптації до довільних наборів вхідних даних.

За результатами наших експериментів можна сказати, що обробка зображення детектором ORB виконується дещо швидше за BRISK, що дає перевагу при застосуванні ORB для задач реального часу.

У той же час BRISK формує значно більше число ОТ та аналізує зображення детальніше, що загалом забезпечує його суттєвішу точність щодо розрізнення об'єктів.

## Висновки

У проведеному дослідженні з використанням апарату кластеризації вирішена задача класифікації зображень на базі структурного опису у вигляді множини особливих точок, що визначаються новітніми детекторами ORB, BRISK. Для цього проаналізовано особливості цих детекторів як бінарних век-

торів, запропоновано способи визначення центрів кластерів шляхом побітового логічного оброблення та порівняння детекторів на основі метрики Хемінга для обчислення багатократних відстаней між дескрипторами замість більш складних метрик. Розроблений метод забезпечує достатній рівень класифікації зображень, що підтвердили наведені результати моделювання.

Наукова новизна дослідження полягає у синтезі нового продуктивного методу структурного розпізнавання зображень на підставі бітового оброблення і побудови класифікаційних рішень у просторі кластер-еталон.

Практична значущість роботи – отримання прикладних програмних моделей для застосування та оцінювання ефективності методів структурного розпізнавання і підтвердження їх результативності в конкретних прикладах баз даних зображень.

Зважаючи на бінарний вид дескрипторів ORB та BRISK, перспективною можливістю побудови результативних правил класифікації, скориставшись механізмами дерев рішення чи хешування.

### Список літератури

1. Ethan Rublee, Vincent Rabaud, Kurt Konolige, Gary Bradski. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF. – *Computer Vision (ICCV), IEEE International Conference on IEEE*, pp. 2564 – 2571, 2011.
2. Stefan Leutenegger, Margarita Chli, Roland Y. Siegwart. BRISK: Binary Robust Invariant Scalable Keypoints. – *Computer Vision (ICCV)*, pp. 2548 – 2555, 2011.
3. Гороховатский В.А. Исследование результативности структурных методов классификации изображений с применением кластерной модели данных / В.А. Гороховатский, Е.П. Путятин, В.С. Столяров // *Радиоэлектроника, информатика, управление*. – 2017. – №3 (42). – С. 78–85.

4. Rosten, Edward, Tom Drummond. *Machine learning for high-speed corner detection*. – 9th European Conference on Computer Vision (ECCV), pp. 430 – 443, 2006.

5. Michael Calonder, Vincent Lepetit, Christoph Strecha, Pascal Fua. BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features. – 11th European Conference on Computer Vision (ECCV), pp. 778 – 792, 2010.

6. Патин М. В. Сравнительный анализ методов поиска особых точек и дескрипторов при группировке изображений по схожести содержанию [Электронный ресурс] / М. В. Патин, Д. В. Коробов // *Молодой ученый*. – 2016. – №11. – С. 214-221. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/115/31188/>.

7. Gorokhovatsky V.A. Intellectual Data Processing and Self-Organization of Structural Features at Recognition of Visual Objects / V.A. Gorokhovatsky, A. V. Gorokhovatsky, A. Ye. Berestovsky // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2016, Vol. 75, No 2. – P. 155–168.

8. Lowe, David G. Object recognition from local scale-invariant features. – *Proceedings of the International Conference on Computer Vision*, pp. 1150 – 1157, 1999.

9. Herbert Bay, Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool. SURF: Speeded Up Robust Features. – *Proceedings of the ninth European Conference on Computer Vision*, pp. 404 – 417, 2006.

10. Борисов Е.С. Кластеризатор на основе нейронной сети Кохонена. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mechanoid.kiev.ua/neural-net-kohonen-clusterization.html/>

11. Кручинин А. Распознавание с использованием OpenCV. – [Электронный ресурс]. 2011. – Режимы доступа: <http://recog.ru/library/opencv/opencvkruchinin.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

12. OpenCV Open Source Computer Vision. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.opencv.org/master/index.html>, свободный. – Загл. с экрана.

Надійшла до редколегії 10.01.2018

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Є.П. Путятін, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

### АНАЛИЗ СВОЙСТВ, ХАРАКТЕРИСТИК И РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ НОВЕЙШИХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСОБЫХ ТОЧЕК ИЗОБРАЖЕНИЯ

В.А. Гороховатский, Д.В. Пупченко, К.Г. Солодченко

Решается задача инвариантного распознавания визуальных объектов с использованием структурных методов на основе описаний в виде множества особых точек изображения. Проведен анализ характеристик и средств программного моделирования современных методов ORB и BRISK для определения особых точек. Предложен метод бинарного анализа для формирования центров классов и последующей классификации. Проведено программное моделирование метода в сравнении с сетью Кохонена, получено подтверждение результативности разработанного метода для прикладной базы изображений.

**Ключевые слова:** компьютерное зрение, структурное распознавание, особые точки изображения, методы ORB, BRISK, метод бинарного анализа, сеть Кохонена, база изображений, программное моделирование, результативность классификации.

### ANALYSIS OF PROPERTIES, CHARACTERISTICS AND RESULTS OF THE USE OF ADVANCED DETECTORS TO DETERMINE THE SPECIFIC POINTS OF THE IMAGE

V.O. Gorokhovatsky, D.V. Pupchenko, K.G. Solodchenko

The problem being solved is of invariant recognition of visual objects with the use of structural methods based on descriptions in the form of a set of special points of the image. The analysis of the characteristics and means of software modeling of modern methods ORB and BRISK for the determination of special points has been carried out. A method of binary analysis for the formation of the class centers and the subsequent classification is proposed. The program modeling of the method was compared with the Kohonen network, and the results of the developed method for the applied database of images were obtained.

**Keywords:** computer vision, structural recognition, special image points, ORB, BRISK methods, binary analysis method, Kohonen network, image database, software modeling, classification efficiency.

Д.В. Гринев, Д.С. Бойко, М.А. Голуб

Харьковский национальный экономический университет имени Семена Кузнеця, Харьков

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕБ-САЙТОВ И СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ В ЭЛЕКТРОННОЙ КОММЕРЦИИ

В статье рассмотрены основные подходы процесса прогнозирования поведения посетителя веб-сайта. Приведены примеры существующих методик и методов прогнозирования, представлены выводы относительно необходимости анализа существующих и построения новых моделей поведения, а также составления прогнозов с помощью этих моделей в процессе ведения бизнеса. Также описаны методы использования социальных сетей для увеличения числа клиентов финансовых учреждений, повышения удовлетворенности продуктами банка и роста их конкурентоспособности. Определяется подход к стратегии использования социальных медиа в банковской сфере.

**Ключевые слова:** электронная коммерция, модели поведения, социальная сеть, банк, маркетинг.

### Введение

Стремительное развитие информационных технологий и такого феномена как Интернет в частности - кардинально изменило представление об экономических ценностях. Благодаря возможности вести бизнес с помощью информационных технологий, появилось такое понятие как «электронная коммерция». Общепринятого определения понятия «электронная коммерция» не существует. Однако, как правило, оно применяется в отношении "распространения маркетинга, продажи либо доставки товаров и услуг электронными средствами" [1].

Возможность совершать сделки между покупателем и поставщиком услуг является одной из ключевых для успешного ведения бизнеса. Только в 2016 году объемы продаж с помощью электронной коммерции в США выросли на 15.6% (рис. 1), схожие показатели верны и для стран ЕС [2].

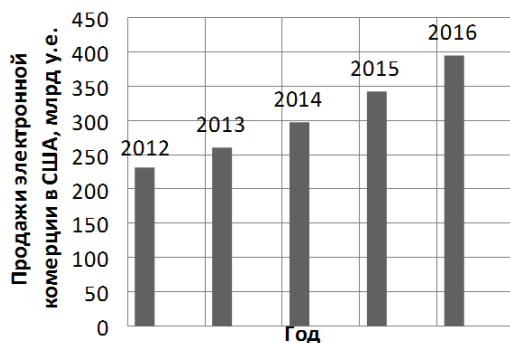


Рис. 1. Сумма продаж с помощью электронной коммерции в США

Электронная коммерция, также как и традиционные методы ведения бизнеса, состоит в проведении сделки между покупателем и продавцом. В данном случае продавцом будет являться веб-сайт, разработка которого является на сегодняшний день чрезвычайно сложной задачей.

Однако, более важным этапом является привлечение и удержание клиента на веб-сайте с целью совершения сделки. Для привлечения и удержания используются различные средства, такие как красочный и удобный дизайн, использование таргетинговой рекламы, предоставление системы скидок и бонусов, использование технологий, повышающих функциональные возможности сайта.

Несмотря на все описанные выше средства и усилия, затраченные на разработку качественного веб-сайта – зачастую целевого трафика (посетителей) оказывается недостаточно, из-за чего уровень конверсий не растет или отсутствует.

На сегодняшний день одним из популярных методов борьбы с низким уровнем конверсии является прогнозирование поведения посетителей веб-сайта. Существует большое количество алгоритмов, методов и методик, направленных на прогнозирование поведения, однако большая часть из них имеют проблемы, которые скрывают весь потенциал использования данных инструментов, в частности: данные, используемые для прогнозирования, являются частичными; большие объемы данных влекут за собой большую временную и пространственную сложность; методики прогнозирования являются неточными из-за недостаточной доступности пользовательских шаблона навигации.

Анализ существующих алгоритмов и подходов используемых при прогнозировании поведения пользователя позволит улучшить качество прогнозов и как следствие - увеличить конверсию веб-сайта следом за которой грядет увеличение доходов веб-сайта. Кроме того, следует учесть, что почти два миллиона людей по всему миру используют социальные сети и это число увеличивается с каждым днем. Современные пользователи социальных медиа ожидают, что они смогут общаться с менеджерами, задавать вопросы и получать различные банковские услуги не закрывая окна браузера.



Простого присутствия компании в социальных сетях уже недостаточно — все больше потребителей ожидают от банков, что тебе будут использовать социальные каналы для того, чтобы получить более быстрое, качественное и эффективное обслуживание. Пользователи социальных медиа хотят иметь доступ к персонализированным финансовым советам, финансовым предложениям, а также к механизму обратной связи для банковских продуктов и услуг.

К сожалению, большинство банков не предлагают таких услуг сегодня. Среднее время ожидания ответа от представителя или менеджера в социальных сетях редко бывает меньше нескольких часов. А более чем две трети всех вопросов клиентов и вовсе остаются неотвеченными [3].

Банки не знают как использовать социальные сети в своих интересах, или не осведомлены о возможных методах взаимодействия с ними.

Тем не менее, стратегическое использование социальных медиа может значительно увеличить влияние не только на то, как финансовые учреждения продают свои услуги на рынке, но и на то, как они управляют своими рисками, как предоставляют свои услуги, занимаются анализом банковских продуктов и прогнозированием потребностей клиентов.

### Прогнозирование поведения посетителя веб-сайта

В настоящее время Интернет стал неотъемлемой частью повседневной жизни, в результате чего наблюдается значительное увеличение данных, генерируемых пользователями. Этих данных огромное количество, которые также являются - неструктурированными и неупорядоченными по своей природе. Поэтому моделирование поведения и прогнозирование интереса пользователя стали очень важными задачами. Для построения моделей или проведения прогнозирования, прежде всего, необходимы данные. Процесс сбора данных — согласно выбранной предметной области - называется веб-майнингом. В процессе веб-майнинга участвуют веб-документы, гиперссылки веб-страниц, лог-файлы веб-сайтов, логи метрики веб-сайтов и т.д. Тремя основными категориями веб-майнинга являются:

1) майнинг веб-контента — процесс извлечения полезных данных из контента (текста, изображений, аудио, видео, гиперссылок и метаданных);

2) майнинг веб-структуры — процесс анализа структуры соединения веб-сайта. Для анализа применяются знания из области теории графов, например - узлами графа являются страницы, а гиперссылки — ребрами;

3) майнинг использования веб-сайта - процесс майнинга, который использует логи веб-доступа [4]. Для анализа пользовательского поведения браузеринга на основе навигационного шаблона пользователя.

Данные, использующиеся в процессе веб-майнинга можно разделить на две категории - первичные данные (данные, которые доступны через сеть Интернет) и вторичные (данные лог-файлов, которые могут быть использованы в процессе веб-майнинга). Прогнозирование поведения посетителя веб-сайта на основе данных, полученных в ходе веб-майнинга, может находить следующее применение:

- улучшения персонализации — возможность улучшить работу веб-сайта, выдавая пользователю результаты в соответствии с потребностями пользователя;

- улучшение качества системы — улучшение качественных показателей системы является ключевым фактором для удовлетворения потребностей пользователя. Такая возможность достигается за счет анализа сетевого трафика и метрик различных частей системы [5];

- улучшения дизайна — данное применение обусловлено наличием данных относительно того, какие части веб-сайта привлекают внимание, какие страницы наиболее посещаемы и т.д. Данная метрика, является ключевой информацией для принятия решений относительно изменений в веб-дизайне и структуре веб-сайта;

- бизнес-аналитика — полученные данные можно использовать для составления маркетинговых стратегий, принятия решений по продвижению веб-сайта, размещению рекламы и пр.

Поведение посетителя веб-сайта является собой перечень характеристик, которые могут быть получены в результате анализа пользовательской сессии, а именно — на каких страницах оставался пользователь, какой путь для навигации между страницами использовался пользователем, почему пользователь может не достичь той или иной страницы, какие страницы привлекают больше всего внимания и т.д.

В ходе прогнозирования поведения пользователей могут использоваться различные алгоритмы и подходы, например:

1) задача о нахождении наибольшей общей подпоследовательности [6] — используется для анализа и обработки шаблонов навигации пользователя для последующего прогнозирования;

2) алгоритм анализа использования веб-сайта на основе последовательности чисел - используется для анализа сессионных шаблонов пользователя, трансформируя их в двоичную систему и затем используя стратегию поиска в глубину [7];

3) самоорганизующаяся карта Кохонена - используется в методах кластеризации;

4) модель Маркова в сочетании с алгоритмом вычисления базовой условной последовательности [8];

Использование приведенных, а также других алгоритмов, подходов и моделей позволяет повысить точность и эффективность существующих мо-



делей. Также, при использовании известных моделей и методов прогнозирования имеет смысл:

1) прибегать к использованию гибридных схем, например метод k-средних, шаблон частого доступа и техники сопоставления схожести;

2) подготавливать данные (например - лог файлы) на стороне клиента, что позволит улучшить понимание шаблонов навигации;

3) анализировать данные, используя частые методы добычи, что позволит помочь в распознании страниц, наиболее часто посещаемых пользователем.

Комбинации различных алгоритмов для майнинга данных, построения на их основании моделей и прогнозирование поведения посетителя может значительно увеличить уровень продаж. Например одна из компаний [9] в течение 2003-2004 годов использовала экспериментальную модель (модель расчета вероятности покупки) предсказания поведения пользователя. Модель помогала определить, собирается ли конкретный покупатель с высокой долей вероятности (больше 50%) покупать некий товар  $n$  в определенный квартал. В 85% случаев покупатель действительно приобретал данный товар. Затем в модель был добавлен другой товар  $u$ , и вероятность предсказания покупки конкретным покупателем товаров  $n$  и  $u$  составляла 74 и 80% соответственно. Таким образом, данная модель увеличила способность B2B веб-сайта точно предсказывать поведение посетителя на 54%. Ключем в предсказании поведения посетителя веб-сайта стала функция вероятности. Данная функция описывает собой вероятность  $L_i$  того, что покупатель или предприятие  $i$  приобретет товар в заданное время [7]:

$$L_i = \prod_{r_i}^{R_i} \left( \left( \prod_{j=1}^J (f_i(t, j))^{\delta_{ijt}} \right)^{C_r} S_i(t)^{1-C_r} \right),$$

где  $R_i$  – число определяющее время между покупками покупателя или предприятия  $i$ ;  $C_r = 0$ , если время покупки находится вне наблюдаемого времени, иначе  $C_r = 1$ ;  $\delta_{ijt} = 1$ , если продукция  $j$  куплена покупателем или предприятием  $i$  в момент времени  $t$ , иначе  $\delta_{ijt} = 0$ ;  $f_i(t, j)$  – плотность соответствующего распределения;  $S_i(t)$  – функция выживаемости, она является функцией цензурирования данных, поскольку конец периода сбора данных в данном эксперименте не совпадает с периодом покупок всех предприятий. Если же привести цифры применения данной экспериментальной модели, то:

1) доход с одного посетителя веб-сайта типа B2B увеличился на 1600 у.е. (увеличение дохода веб-сайта с 200000 посетителей примерно на 320 миллионов у.е.);

2) доход с одного посетителя веб-сайта компании, занимающейся предоставлением финансовых услуг, составил 400 у.е. (увеличение дохода с клиентской базы в 10000 пользователей составляет около 4 миллионов у.е.)

## Анализ методов использования социальных сетей в интересах банка

Финансовые учреждения смогут получить выгоду сразу в нескольких сферах, благодаря преимуществам, которые дают им социальные сети.

Полный отказ от использования социальных сетей приведет к стратегическому самоуничтожению в современном мире, поскольку преимуществ намного больше рисков. Первоначально, социальные банковские медиа-технологии и решения были сосредоточены на простых функциях, таких как социальный маркетинг или ответы на вопросы клиентов. Сегодня необходимо комплексное решение, которое охватывает множество возможностей, включая взаимодействие с клиентами, анализ данных, получение информации, управление рисками и т. д. Социальные данные помогут финансовым учреждениям не только увеличить уровень удовлетворенности клиента продуктами компании, но и в перспективе привлечь новых клиентов, а также увеличить долю средств клиента, которую он хранит в банке, пользуясь теми или иными банковскими услугам.

Для усиления своих конкурентных позиций нужно постоянно улучшать свои сервисные возможности путем уменьшения времени ожидания ответа. Еще один способ достичь конкурентного преимущества – введение персонализированных предложений, которые должны формироваться на основе открытых социальных данных пользователя сети.

Банки сегодня используют социальные медиа в основном для маркетинга и продвижения (табл. 1). Тем не менее, они могут расширить сферу их применения путем выбора правильных аналитических инструментов и социальных платформ. Чтобы полностью раскрыть потенциал использования социальных сетей, а не останавливаться лишь на продвижении и репутации бренда, необходимо научиться предсказывать поведение клиента, основываясь на его социальных данных.

Таблица 1

Количество людей, подписанных на популярные украинские банки в Facebook и Twitter в ноябре 2017г. [9]

Название банка	Facebook	Twitter
ПАТ КБ "ПРИВАТБАНК"	95 500	113 000
АО "Райффайзен Банк Аваль"	23 000	-
ПАТ "АЛЬФА-БАНК"	20 537	2 600
ПАТ "УКРСОЦБАНК"	13 300	400
АТ "ОТП БАНК"	18 848	248

Один из методов использования социальных сетей – получение дополнительных данных о пользователях. Для понимания всех требований современного клиента необходим унифицированный анализ данных с многих источников. Современные аналитические инструменты позволяют объединить

внутренние банковские данные, с такими социальными данными, как например, дни рождения, годовщины или другими важные для клиента даты. Все эти данные помогут предоставить клиенту более привлекательный банковский продукт. Используя эти данные, можно также лучше управлять своими рисками, например, заблаговременно идентифицировать потенциальных неплательщиков.

Социальные медиа могут быть эффективным каналом для уведомления и разъяснения этих изменений клиенту. Новые требования регулятора или изменения в законодательстве часто изменяют условия ведения бизнеса и соответственно предоставления тех или иных банковских услуг. Пользователи также могут узнавать о нововведениях и обновлениях в продуктах и услугах банка.

Еще один метод использования социальных сетей – возможность отслеживания поведения пользователей путем мониторинга их реакции на те или иные сообщения на официальных страницах банка. Перепосты, лайки и комментарии можно использоваться для создания представления о восприятии пользователями той или иной информации о продуктах и услугах. Аналитические инструменты предоставляют неocenимую информацию о поведении клиентов и их настроениях, что можно использовать для разработки более клиенто-ориентированных и персонализированных продуктов и услуг (рис. 2).

VAR CODE	ORDINARY DEFAULT SCORECARD		
	Variable name	Value range	Scorepoint
		Male	15
$x_1$	Number of days since last visit	$x1 < 1$	26
		$1 \leq x1 < 3$	30
		$3 \leq x1 < 37$	20
		$37 \leq x1 < 149$	17
		$149 \leq x1$	11
$x_{30}$	Number of days since the first post	$x30 < 265$	20
		$265 \leq x30 < 399$	15
		$399 \leq x30 < 1330.5$	23
		$1330.5 \leq x30$	36
$x_{75}$	Number of job places	0, Missing	21
		$\geq 1$	29

Рис. 2. Пример системы показателей для расчета рейтинга основанного на социальных данных [10]

Социальные медиа и мобильные приложения можно использовать и в качестве виртуальных “отделений банка”, что позволит увеличить проникновение в те географические области, где у них нет физического присутствия. Используя каналы социальных сетей, можно вовлечь новых клиентов, предлагая им различные услуги, такие как дебетовые или кредит-

ные карты, депозиты, беспроцентные переводы в тех областях или регионах, где открывать новое отделение нецелесообразно по финансовым причинам. Каналы в социальных сетях могут содержать информацию о продуктах и услугах конкурентов. Путем отслеживания этих данных можно оценить реакцию пользователей на предложения конкурентов и понимать, какие из аспектов их стратегий можно использовать в собственных продуктах.

Отдельная команда SMM (social media marketing) может сделать банк более доступным и отзывчивым для своих клиентов. Быстрые ответы на вопросы и предоставление точной информации повысит уровень удовлетворенности и доверия клиентов.

Многие социальные сети предлагают компаниям возможность размещения приложений. Этим могут воспользоваться и банки. Этот метод увеличивает лояльность клиентов и удобство пользования продуктом. Некоторые банки уже запустили услугу привязки своей учетной записи к странице пользователя Facebook, обеспечивая таким образом быстрые денежные переводы между друзьями, удобную покупку билетов в кино для компании друзей и т.д.

Социальные сети могут широко использоваться и самими сотрудниками. Так, например, они могут делиться своим опытом, помогать друг другу решать рабочие вопросы или распространять важную внутреннюю информацию. Согласно опросам, 20% сотрудников используют социальные сети для получения информации касательно работы, а 24% используют их для общения с коллегами [11].

К сожалению, внедрение и использование этих методов требует определенных усилий, а во время внедрения можно столкнуться с определенными трудностями. Для внедрения всех этих инструментов необходима специальная команда, которая будет управлять социальными каналами. Социальные сети должны быть внедрены в общую экосистему банка. Более того, учреждения должны разработать систему KPI (key performance indicator) для оценки своей деятельности в сфере социальных данных.

Прежде чем выбрать инструмент или платформу, предстоит определить свое видение социальной стратегии. Например, в Украине наиболее популярными социальными сетями являются Facebook и Instagram [12], делая их очевидным выбором для использования в качестве социального канала.

Возможно, придется внедрить новые метрики для измерения эффективности социальной стратегии. Эти данные могут помочь понять, кто является целевой аудиторией банка, где эти клиенты обсуждают продукты банка, и что они о них говорят. Эта информация может стать ключевой в процессе поиска способа улучшить банковский продукт. Успех в социальных медиа, тем не менее, также требует наличия хорошо развитой ИТ инфраструктуры в финансовом учреждении. При планировании деятельности стоит учитывать, что технологии должны быть на первом плане.

Возможно для эффективного внедрения социальной стратегии многим банкам понадобится перестроить свою устоявшуюся ИТ-инфраструктуру. Технологии должны быть объединены для обеспечения единого, последовательного и полностью интегрированного обслуживания клиентов независимо от канала взаимодействия (рис. 3).

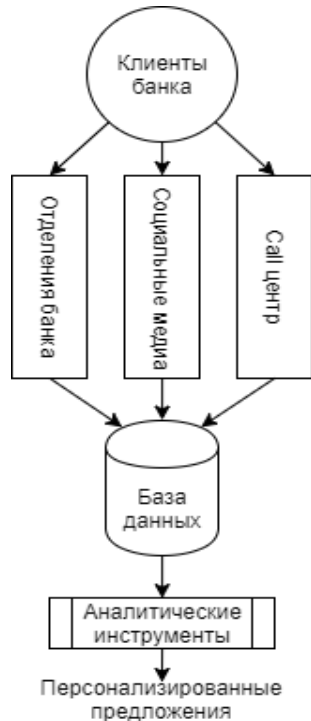


Рис. 3. Схема инфраструктуры анализа данных клиентов банка

Интегрированная ИТ-архитектура, в которой используются социальные сети, может охватывать всю гамму банковских операций, от клиентских операций фронт-офиса до обмена информацией между фронт-офисом, мидл-офисом и бэк-офисом. Это позволит эффективно коммуницировать, сокращать расходы на деятельность, не связанную с добавленной стоимостью, и больше ориентироваться на стратегическую деятельность.

Развертывание социальных CRM может стать следующей важной задачей для банков, поскольку это позволит им осуществлять мониторинг и обрабатывать большие объемы неструктурированных данных с целью автоматизации процесса создания персонализированных предложений в соответствии с индивидуальными потребностями клиента.

По сравнению с другими отраслями банки собирают данные, которые много говорят об их клиентах. К таким данным можно отнести покупательские настроения и предпочтения, выбор инвестиций, важные даты, такие как дни рождения и юбилеи. Объединяя эти данные можно получить полную поведенческую картину клиента, которая показывает потребности и желания, прогнозирует спрос на банковские продукты и услуги, при этом подстраивая их под постоянно меняющиеся запросы клиента.

При сборе и хранении персональных данных необходима осторожность. Рекомендуется установить внутренние правила и регуляции, касающиеся работы с данными клиентов. Информационная политика должна учитывать действующее законодательство, соглашения о конфиденциальности и этические аспекты ведения бизнеса.

Опрос, проведенный в Harvard Business Review, выявил, что 50% опрошенных финансовых учреждений в настоящее время используют социальные сети, 25% планируют использовать, а 22% не планировали использовать социальные медиа [13]. Учитывая ожидания клиентов, последняя группа подвергает себя риску (рис. 4), и может стать неконкурентоспособной, поскольку это банк, который не планирует интегрировать социальные медиа в свои основные бизнес-операции.



Рис. 4. Причины выбора банка согласно опросу Harris Interactive [14]

Метод проведения успешной социальной медиа-стратегии определяется в следующих шагах (с приблизительной длительностью):

- разработать видение и получить необходимую организационную поддержку для охвата аудитории социальных сетей (3 недели)
- определить масштаб и задачи для медиа-стратегии (1 неделя)
- определить правильные метрики для измерения эффективности стратегии (1 неделя);
- разработать план надежного снижения рисков (2 недели);
- изучить и понимать регуляторные требования и требования о конфиденциальности (3 недели);
- интегрировать технологическую инфраструктуру для успешного продвижения социальной стратегии и достижения бизнес-цели (2 месяца);
- обеспечить организацию обучения корпоративной социальной стратегии в масштабах всей организации (3 месяца).

Так или иначе, нельзя отрицать, что социальные сети стали необходимыми для банковской отрасли, и вопрос не в том, нужно ли, а в том, как банкам образовать социальные стратегии для обеспечения прибыльности в будущем.

## Выводы

Интернет является стремительно растущей информационной сетью, а объемы данных вместе с количеством пользователей в сети растут колоссальными шагами. Анализ прогнозирования поведения посетителя веб-сайта, улучшение существующих алгоритмов и подходов позволит вести бизнес с гораздо большей эффективностью и получать значительное увеличение доходов. Сфера социальных медиа быстро развивается. Банки и финансовые учреждения, которые смогут быстро объединить свои бизнес-операции и стратегии в социальных сетях, будут более гибкими к потребностям клиентов и смогут предложить своим клиентам лучший опыт в использовании финансовых продуктов.

Необходимость проведения дополнительных исследований в области прогнозирования поведения посетителей веб-сайтов и социальных сетей отчетливо прослеживается с дальнейшим развитием сети интернет. Усовершенствование алгоритмов и подходов используемых при прогнозировании поведения посетителей веб-сайта и социальных сетей позволят пользователям более эффективно и комфортно осуществлять действия на веб-сайте, такие как поиск информации, осуществление покупок, общение в социальных сетях и т.д. Бизнес, в свою очередь, будет получать увеличенную конверсию пользователей, увеличенные доходы которые позволят осваивать новые рынки сбыта, помогая достигать максимальной коммерческой выгоды.

## Список литературы

1. Понятие электронной коммерции [Электронный ресурс] // Режим доступа к статье: <http://laboureconomics.ru/neweconomics/131-ecommerce>.
2. US e-commerce sales grow 15.6% in 2016 [Электронный ресурс] // Режим доступа к статье: <https://www.digitalcommerce360.com/2017/02/17/>.
1. The Wall Street Journal, March 13, 2014, [Электронный ресурс] // Режим доступа к статье: <http://online.wsj.com/news/articles>.

3. Sudheer K. Reddy. An Effective Methodology for Pattern Discovery in Web Usage Mining, International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 3 (2) 2012, pp. 3664-3667.

4. Vedpriya Dongre, Jadhav Raikwal, An Improved user Browsing Behavior Prediction Using Web Log Analysis, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology, Volum 4 Issue 5, May 2015, pp. 1838-1842c.

5. Наибольшая общая подпоследовательность [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Longest\\_common\\_subsequence\\_problem](https://en.wikipedia.org/wiki/Longest_common_subsequence_problem).

6. Gang Fang, Jia-Le Wang, Hong Ying, Jiang Xiong, A double algorithm of Web usage mining based on sequence number, IEEE 2009

7. A. Awad and Issa Khalil, Prediction of User's Web-Browsing Behavior: Application of Markov Model, IEEE Transaction 2010.

8. Knowing What to Sell, When, and to Whom [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://hbr.org/2006/03/knowing-what-to-sell-when-and-to-whom>.

9. The Wall Street Journal, March 13, 2014, [Электронный ресурс] // Режим доступа к статье: <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424052702303546204579437692833009398>

10. Официальный рейтинг банков Украины [Электронный ресурс] // Режим доступа к статье: <http://banker.ua/officialrating/>.

11. CREDIT SCORING BASED ON SOCIAL NETWORK DATA [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://bijournal.hse.ru/data/2015/10/12/1076342406/2.pdf>.

12. Social Media and the Workplace // Режим доступа к статье: <http://www.pewinternet.org/2016/06/22/social-media-and-the-workplace/>

13. Рейтинг популярных в Украине сайтов за октябрь 2017 года [Электронный ресурс] // <https://itc.ua/news/rejting-populyarnyih-v-ukraine-saytov-v-oktyabre-2017-goda-sotsialnyie-seti-novostnyie-i-e-commerce-saytyi-vyrosli-a-sanktsionnyie-resursyi-poteryali-ohvat/>.

14. Harvard Business Review, 2010 [Электронный ресурс] // Режим доступа: [http://www.sas.com/resources/whitepaper/wp\\_23348.pdf](http://www.sas.com/resources/whitepaper/wp_23348.pdf).

Надійшла до редколегії 22.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## АНАЛІЗ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕДІНКИ ВІДВІДУВАЧА ВЕБ-САЙТУ

Д.В. Гриньов, Д.С. Бойко, М.А. Голуб

В статті розглянуті основні підходи процесу прогнозування поведінки відвідувача веб-сайту. Наведені приклади існуючих методів та методик прогнозування, надані висновки щодо необхідності аналізу існуючих та побудови нових моделей поведінки, а також складання прогнозів за допомогою цих моделей у процесі ведення бізнесу. Також надані методи використання соціальних мереж для збільшення числа клієнтів фінансових установ, підвищення задоволеності продуктами банку та зростання їх конкурентоспроможності. Визначається підхід до стратегії використання соціальних медіа в банківській сфері.

**Ключові слова:** електронна комерція, моделі поведінки, соціальна мережа, банк, маркетинг.

## BEHAVIOUR PREDICTION ANALYSIS OF WEBSITE USER

D.V. Grynov, D.S. Boiko, M.A. Holub

The article considers the main approaches of the process of forecasting the behavior of the web site's user. Examples of existing approaches and methods of forecasting are presented as well as the conclusions regarding the need to analyze existing and building new behavioral models as well as make forecasts using these models in the course of doing business. The article describes methods of using social networks used to increase the number of clients of financial institutions, as well as to increase satisfaction with the products of the bank and increasing their competitiveness. The article also determines the approach to the strategy of using social media in the banking sector.

**Keywords:** e-commerce, behavior models, social network, bank, marketing.



І.В. Ільїна, Д.С. Кадубенко, Д.О. Ільїн

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

## ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ

*Аналізуються підходи мінімізації часу для отримання необхідної інформації з бази даних, а також критерії та параметри запитів, яких необхідно дотримуватися у процесі розробки. Розглядаються питання створення та оптимізації запитів для підвищення продуктивності, що дозволяють зробити функціонування бази даних більш ефективною. Обґрунтовано необхідності використання даних підходів в різних структурах.*

**Ключові слова:** база даних, мінімізації часу, СУБД, Oracle, алгоритм пошуку, оптимізація запиту.

### Вступ

Існує безліч підходів до мінімізації часу отримання необхідної інформації з бази даних, які базуються на оптимізації запитів: логічної і семантичної. Ці підходи засновані на внутрішнє перетворення запитів, зміні послідовності виконання операцій реляційної алгебри. Мало досліджена можливість оптимізації запитів в базах даних, що містять дубльованих інформацію. Зміст дублікатів інформації дозволяє будувати різні запити для отримання однієї і тієї ж інформації. Одним з способів контрольованого зберігання і застосування інформації, що дублюється, є використання матеріалізованих уявлень. Матеріалізовані уявлення, що вперше з'явилися в СУБД Oracle, є таблицями бази даних, що зберігають результати виконання запитів. Цілісність даних в цих таблицях підтримується періодичною синхронізацією або використанням інструментів тригерів. Таким чином, для оптимізації запитів з альтернативними маршрутами їх виконання попереду стоїть завдання дослідження методів їх вирішення.

На даний час в різних сферах людської діяльності важливу роль відіграє оперативність прийняття рішень і швидкість отримання інформації, що впливає на ці рішення. Отримати оперативно інформацію з бази даних часто не представляється можливим через наявність великого обсягу даних і складності запитів в інформаційній системі, яка використовується. Тому створення і застосування методів, що дозволяють підвищувати ефективність виконання запитів, є областю досліджень, яка активно розвивається. Під підвищенням ефективності виконання запитів - оптимізацією запитів - розуміється скорочення часу їх виконання.

**Головною метою роботи** є пошук оптимального плану виконання запитів. Для цього необхідно:

провести аналіз існуючих підходів до оптимізації запитів в базах даних;

розробити і дослідити спеціальні методи побудови альтернативних маршрутів виконання запитів шляхом зміни структури бази даних за рахунок внесення контрольованої надмірності.

Таким чином, для оптимізації запитів з альтернативними маршрутами їх виконання попереду стоїть завдання дослідження методів їх вирішення.

### Основна частина

Оптимізація процедур обчислення запитів є, взагалі, обчислювальне важкою, заважає відсутність точної статистичної інформації про базу даних.

Запит - це мовне вираження, яке описує дані, що підлягають вибірці з бази даних. Запити використовуються в декількох середовищах. Найбільш очевидний додаток, в який надходять безпосередні запити кінцевого користувача, що потребує інформації про структуру або вміст бази даних. Якщо потреби користувачів обмежені набором стандартних запитів, вони можуть оптимізуватися вручну шляхом програмування відповідних процедур пошуку і обмеження для користувача. Однак, якщо потрібно задавати непередбачені запити з використанням мови запитів загального призначення, стає необхідною система автоматичної оптимізації запитів. Друге застосування запитів відбувається в транзакціях, які змінюють збережені дані на основі їх поточних значень. Нарешті, вирази, подібні запиту, можуть використовуватися всередині СУБД, наприклад, для перевірки прав доступу [1], підтримки обмежень цілісності [2] і коректної синхронізації паралельного доступу [3].

Економічний принцип вимагає, щоб процедури оптимізації намагалися або максимізувати пропускну здатність при заданому числі ресурсів, або мінімізувати споживання ресурсів при даній пропускну здатності. Оптимізація запитів направлена на мінімізацію часу відгуку для заданого запиту і змішування типів запитів. Ця загальна мета допускає ряд різних операційних цільових функцій. Час відгуку є розумною метою тільки при припущенні, що час користувача є найбільш важливим критичним ресурсом. В іншому випадку можна прагнути безпосередньої мінімізації вартості споживання технічних ресурсів. Обидві мети є у великій мірі взаємно додатковими; при виникненні конфліктів цілей зазвичай вирішуються шляхом призначення обмежень на доступні технічні ресурси (наприклад, на розмір буферного простору).

Щоб допустити справедливе порівняння ефективності, функціональні можливості порівнюваних систем виконання запитів повинні бути подібними. Вимога "реляційної повноти", яка запропонована Кодом [4], стала квазістандартом. Загальна вартість, що підлягає мінімізації, складається з таких компонентів:

**Вартість комунікацій:** Вартість передачі даних з місця, в якому вони зберігаються, в місце, де виконуються обчислення і представляються результати. Ця вартість складається з вартості комунікаційного каналу, яка зазвичай пов'язана з часом, протягом якого канал відкритий, і вартістю затримок в обробці, викликаних передачею. Останній компонент, більш важливий для оптимізації запитів, часто покладається лінійною функцією від обсягу переданих даних.

**Вартість доступу** до вторинної пам'яті: вартість (або час) завантаження сторінок даних з вторинної пам'яті в основну пам'ять. На цю вартість впливає обрані данні (головним чином, розмір проміжних результатів), кластеризація даних на фізичних сторінках, розмір доступного буферного простору і швидкість пристроїв, які використовуються

**Вартість зберігання:** вартість заняття вторинної пам'яті і буферів основної пам'яті. Вартість зберігання доречна лише в тому випадку, коли пам'ять стає вузьким місцем системи, і розмір необхідної пам'яті може змінюватися від запиту до запиту.

**Вартість обчислень:** вартість (або час) використання центрального процесора (ЦП).

На структуру алгоритмів оптимізації запитів впливають співвідношення між цими компонентами вартості. У територіально розподіленій СУБД з відносно повільними комунікаційними каналами переважає вартість комунікаційних затримок, а інші чинники істотні для локальної оптимізації. У централізованих системах домінує час доступу до вторинної пам'яті, хоча для складних запитів досить високою може бути і вартість ЦП [5]. У локально розподілених СУБД всі фактори мають близькі ваги, що призводить до складних функцій і процедур оптимізації.

Дослідження присвячено централізованим базам даних, вартість комунікацій не береться до уваги, тому що в таких системах комунікаційні вимоги не залежать від стратегії виконання запитів. Для оптимізації одиночних запитів вартість зберігання також вважається не першочергово важливою. Ці витрати враховуються тільки при одночасній оптимізації кількох запитів. Залишаються вартість доступу до вторинної пам'яті і вартість використання ЦП (вимірюється числом порівнянь, які потрібно зробити). В основі більшості методів, розроблених для скорочення цієї вартості, лежить ряд загальних ідей: уникати дублювання зусиль; використовувати стандартизовані компоненти; заглядати вперед, щоб уникати зайвих операцій; вибирати найбільш дешеві способи виконання елементарних операцій; вибудувати їх послідовність оптимальним чином.

Дослідження оптимізації запитів, які представлені в літературі, можна розбити на два класи, які

можна охарактеризувати як висхідний і спадний. Дослідники знаходять спільну проблему оптимізації запитів дуже складною. Теоретичні роботи почалися з висхідного підходу, вивчення особливих випадків, таких як оптимальна реалізація важливих операцій і стратегії обчислення для деяких простих підкласів запитів. Надалі дослідники намагалися зібрати з цих початкових результатів більші «будівельні блоки».

Потреба в працюючих системах ініціювала розробку повномасштабних процедур обчислення запитів, що вплинуло на спільність рішень і змусило займатися оптимізацією запитів в евристичній манері [6]. Оскільки часто це не дозволяло досягти конкурентної ефективності систем, сучасною тенденцією є спадний підхід, який забезпечує можливість включення в загальні процедури більшого знання про можливість оптимізації в окремих випадках. У той же час, самі загальні алгоритми посилюються комбінаторними процедурами мінімізації вартості для вибору між стратегіями. Дотримуючись спадного підходу, який застосовує загальну процедуру обчислення, служить каркасом для конкретних методів, розроблених при дослідженні оптимізації запитів.

**Крок 1.** Знайти внутрішнє уявлення запитів, в яке можуть легко відобразитися запити користувачів, що залишає системі всі необхідні ступені свободи для оптимізації виконання запитів.

**Крок 2.** Застосувати логічні перетворення до подання запиту, які по перше, стандартизують запит, по друге, спрощують запит, щоб уникнути дублювання зусиль, третє покращують запит для спрощення його виконання і створення можливості застосування процедур окремих випадків.

**Крок 3.** Показати перетворений запитів в послідовність елементарних операцій, для яких відома хороша реалізація і відповідні оцінки вартості. В результаті цього кроку з'являється набір можливих "планів доступу".

**Крок 4.** Обчислити загальну вартість кожного плану доступу, вибрати найбільш дешевий план і виконати його.

Перші два кроки цієї процедури є в великій мірі незалежними і тому часто можуть бути виконані під час компіляції. Якість кроків 3 і 4 сильно залежить від знання значень в базі даних. Наслідки від залежності від даних є двоякими. По-перше, якщо база даних мінлива, то кроки 3 і 4 можуть бути виконані тільки під час виконання. Це означає, що можливий вигравш в ефективності повинен співвідноситися з вартістю самої оптимізації. По-друге, в метабазі даних (наприклад, розширюваному довіднику даних) повинна підтримуватися загальна інформація про структуру бази даних, так само як і статистична інформація про вміст бази даних. Як і в багатьох схожих дослідженнях (наприклад, при управлінні запасами) вартість отримання і підтримки цієї додаткової інформації повинна зіставлятися з її якістю.

Сучасне поняття інформаційної системи має кілька тлумачень. Але всі вони схожі в одному: інфор-

маційна система повинна включати в себе базу даних (БД), систему управління базами даних (СУБД) і клієнтську програму [7]. Інформаційні системи є одним з головних об'єктів, які використовуються при прийнятті, супроводі та контролі управлінських рішень, тому вони використовуються практично на кожному підприємстві. Розрізняють такі інформаційні системи: локальні та інтегровані. Локальні виконують лише якісь окремі конкретні завдання, в той час як інтегровані задовольняють потреби всіх служб, підрозділів та співробітників [8]. Для інтегрованих інформаційних систем характерна розподілена архітектура «клієнт-сервер» [5]. Така архітектура має на увазі, що її компоненти розподілені по різних комп'ютерів. Так на одному комп'ютері розташовані БД і СУБД, а на інших клієнтські додатки. Іноді в інформаційних системах крім сервера баз даних є сервери клієнтських додатків. Тоді виникають проміжні ланки, і клієнтські програми взаємодіють не з базою даних, а з сервером додатків, а той вже в свою чергу з СУБД [6].

Інтегровані корпоративні системи містять єдину базу даних, тому дозволяють користувачам в будь-який момент часу отримувати актуальну інформацію. Використання підприємствами інтегрованих інформаційних систем у своїй діяльності є найважливішою конкурентною перевагою, так як оперативне отримання необхідної інформації сильно впливає на якість прийнятих управлінських рішень [5]. Швидкий доступ до необхідної користувачам інформації забезпечується всіма компонентами інформаційних систем, але найбільш важливим з них є бази даних.

База даних – організована відповідно до певних правил і підтримувана в пам'яті комп'ютера сукупність даних, що характеризує актуальний стан деякої предметної області, та використовується для задоволення інформаційних потреб користувачів [7]. До відмітних особливостей баз даних відносяться [9]: обробка та зберігання баз даних повинно здійснюватися в обчислювальній системі; структурованість даних, що зберігаються; опис її логічної структури.

Сьогодні найбільш поширеною моделлю організації даних є реляційна [8]. Реляційна модель побудована на понятті відносини і відповідає таким аспектам: дані є набором відносин; відносини відповідають рівням цілісності (рівні домену, відносини і бази даних); підтримуються оператори обробки даних. Реляційна модель орієнтована на організацію даних у вигляді двовимірних таблиць [7]. Кожна реляційна таблиця – двовимірний масив і має такі властивості: кожен її елемент – один елемент даних; всі осередки в стовпці таблиці однорідні, тобто всі елементи в стовпці мають однаковий тип; кожен стовпець має унікальне ім'я; однакові рядки відсутні; порядок проходження рядків і стовпців довільний.

Все це робить незалежним клієнтську програму від структури бази даних, тобто зміна структури бази даних не буде приводити до необхідності модифікації клієнтського додатку. Це робить реляційну модель даних досить гнучкою. Крім того наявність суворого

математичного апарату для роботи з даними – реляційної алгебри, дозволяє точно і однозначно будувати запити для отримання необхідної інформації [1].

Об'єктно-реляційні бази даних реалізують такі додаткові можливості [6]: об'єктну інфраструктуру, що дозволяє користувачам визначати нові типи даних, функції і правила безпосередньо в самих базах даних; реляційні розширювачі над об'єктної інфраструктурою підтримують спеціалізовані додатки.

Реляційна модель має під собою потужний фундамент у вигляді суворого математичного апарату – реляційної алгебри. Сучасне розвиток інформаційних систем зажадало введення нових можливостей, зокрема, кошти визначення нових типів збережених даних і операцій над ними, а також зберігання правил, що дозволяють додаткам спільно використовувати не тільки дані, але і їх поведінку.

У зв'язку з описаними вище аспектами з'явилися розширення реляційних систем баз даних у вигляді об'єктно-реляційної моделі [2]. Оптимізація запитів в базах даних дозволяє значно скоротити час їх виконання, а значить, істотно впливає на швидкість прийняття управлінських рішень, заснованих на аналізі наявної інформації. Існує безліч підходів до мінімізації часу отримання інформації з бази даних, заснованих на оптимізації запитів. Під оптимізацією запиту в реляційних базах даних розуміють вибір способу виконання запитів, коли на основі синтаксичного і семантичного перетворення будується план його виконання, який при існуючій керуючій структурі дає мінімальний час його виконання. Процедuru оптимізації запитів можна розбити на кілька етапів [6].

**На першому етапі** відбувається синтаксичний і лексичний розбір запиту. Результатом етапу є його внутрішнє подання, яке містить інформацію про об'єкти бази даних, описаних в самому запиті.

**Другий етап** полягає в логічній оптимізації внутрішнього подання запиту, отриманого на першому етапі. На цьому етапі застосовуються перетворення, що зберігають семантичну цілісність, і призводять його до деякої стандартної форми.

**На третьому етапі** відбувається вибір набору альтернативних планів виконання даного запиту на основі його внутрішнього уявлення, отриманого на другому етапі.

**На останньому етапі** відбувається реальне виконання запиту в відповідно до вибраного на попередньому етапі плану.

Логічна оптимізація запитів має на увазі еквівалентні перетворення подання запиту, що використовують правила, які закладені в оптимізаторі. Ці правила, що призводять до оптимізації запиту, є досить умовними, оскільки залежать від загальної організації оптимізатора, яка в свою чергу багато в чому залежить від того, як буде виконуватися етап вибору альтернативних планів реалізації даного запиту [2].

Логічні перетворення є одними з основних перетворень, що призводять внутрішнє уявлення запиту до якогось стандартного, канонічного вигляду. На-

приклад, уявлення предикатів, які описують умови вибірки в даному запиті. Під предикатами, які задають умови вибірки, розуміють звичайні операції порівняння, тобто предикат є порівняння двох арифметичних виразів, наприклад, імена полів відносин і константи [3]. Тобто, в цьому випадку логічна оптимізація зводиться до приведення предикатів загального вигляду до наступного поданням "арифметичний вираз-оператор-константний арифметичний вираз". При цьому ліву і праву частину теж можна привести до певного стандартного вигляду. Це може дозволити знайти загальні арифметичні вирази в різних предикатах запиту, що може привести до зменшення всього часу виконання запиту. Під час операцій по приведенню предикатів до канонічного вигляду логічним видається обчислювати вирази констант всюди, де це можливо, а також йти від операції заперечення.

Природним наступним етапом логічних перетворень є приведення умов вибірки до однієї з канонічних форм. В якості таких форм найбільш часто використовуються кон'юнктивна і диз'юнктивна нормальна форми. Кон'юнктивна нормальна форма являє собою кон'юнкцію предикатів, які в свою чергу є диз'юнкція простих предикатів. Аналогічно, диз'юнктивна нормальна форма являє собою диз'юнкцію предикатів, які в свою чергу є кон'юнкція простих предикатів. Приведення предикатів до конкретної канонічної форми багато в чому залежить від типів використовуваних оптимізаторів [5].

Перед приведенням умов вибірки до канонічного вислову логічним етапом є спрощення самих умов. Одним з яскравих прикладів таких спрощень є заміна кон'юнкції, предикати, які взаємно суперечать, на значення FALSE. Дійсно, взаємне виконання умов, що суперечать, статися не може, чого якраз і вимагає операція кон'юнкції. Ще одним логічним перетворенням є позбавлення від ідентичних предикатів, які можуть виникнути при первісному невдалому конструюванні запитів, або з'явитися у час приведення предикатів до канонічного вигляду.

Оптимізатор запитів повинен вибирати послідовність операцій виконання, що приводить до найбільш мінімальних витрат фізичних ресурсів, тобто повинен забезпечувати ефективний фізичний план. Для того, щоб фізичний план виконання запитів був ефективним, крім використання алгебраїчних законів необхідно групувати однакові асоціативно-комутативні оператори, в тому числі оператори з'єднання. Використання логічних перетворень запитів не залежить від конкретного виду бази даних. Але в реальних реляційних базах даних є деяка сукупність правил і знань, що використовуються для різних цілей, в тому числі і для збереження цілісності бази даних.

Системи управління базами даних використовують ці обмеження для збереження цілісності бази даних. Запити до бази даних повинні формулюватися, використовуючи і спираючись на знання підтримки цілісності бази даних, що зберігаються [4]. Сучасний розвиток обчислювальної техніки дозволяє не сильно

турбуватися про обсяги інформації, що зберігається. Набагато більш критичною є завдання швидкого пошуку і вибору з усього обсягу необхідної інформації. Крім того, сучасні СУБД мають достатньо великий і нескладний інструментарій для підтримки цілісності інформації в базах даних. Тому зберігання дубльованої інформації вже можна не відносити до недоліків.

Другим із зазначених недоліків є негнучкість матеріалізованих уявлень. Можливість їх використання обмежується вбудованими в клієнтську програму запитів. Адже навіть при невеликому корегуванні запиту матеріалізоване уявлення не даватиме необхідної в запиті інформації. Можливий шлях подолання цього недоліку полягає в наступному: при зміні запиту матеріалізоване уявлення може залишитися його частиною. Так як матеріалізоване уявлення вже є результатом виконання ряду операцій, то заміна цих операцій в запиті може значно прискорити час виконання. Актуальною стає розробка методик прискорення часу виконання запитів, які враховують денормалізація. Семантичні методи оптимізації, засновані на внесення та зберіганні дубльованої інформації в базі даних. Зазвичай одним із завдань, що вирішуються при проектуванні баз даних, є нормалізація відносин. Нормалізація полягає в видаленні надлишкової інформації і створенні однозначності в збережених даних. Нормалізація - це приведення відносин до нормальної форми [6].

У зв'язку з відсутністю дубльованої інформації та однозначності її визначення в нормалізованих базах даних не можна побудувати різні варіанти запитів, що дають семантично рівнозначні результати. При сучасному технологічному розвитку нормалізованих баз (відсутність дубльованої інформації зменшує обсяг пам'яті, необхідної для її зберігання, і не може викликати невідповідність в дублікатах, що зберігаються в різних місцях; однозначність визначення виключає можливість помилок у виданих даних [4]) стають і їх недоліками. У нормалізованих базах для отримання необхідної інформації необхідно створювати запити, що містять велику кількість з'єднаних таблиць. Розміри багатьох сучасних інформаційних систем складають терабайти, а кількість записів наближається до сотнею мільйонів. Тому операції з'єднання таблиць можуть виконуватися досить довго і гальмувати роботу всієї системи. У цьому випадку кращим варіантом було б збереження додаткової дубльованої інформації (необхідне збільшення обсягів пам'яті не є критичним), яка б дозволяла значно скоротити кількість операцій з'єднання таблиць в запитах і зменшити час їх виконання.

Денормалізацію не можна вважати просто операцією зворотною до нормалізації [8]. По-перше, на відміну від нормальних не існує денормальних форм. По-друге, немає строгих математично обґрунтованих правил виконання денормалізації. Проведення денормалізації – процес неформалізований та творчий. Якість денормалізації характеризується наступними параметрами:



1) сума часів на виконання запитів до бази і на підтримку її цілісності за певний проміжок часу (годину, добу, тиждень і т.д.). Денормалізація вважається обґрунтованою, якщо ця сума менше, ніж час виконання запитів до бази за такий же період часу до денормалізації;

2) інформація, що видається, відповідає актуальному стану бази даних. Вона повинна бути однозначною в незалежності від того, з яких джерел зберігання дубльована інформація отримана. Багато в чому якість денормалізації буде залежати від досвіду і знань адміністратора баз даних, котрий її проводить.

Використання дубльованої інформації в інформаційних системах іноді дозволяє не тільки значно скоротити час виконання запитів, але і спростити процедуру написання запитів. Така можливість реалізується в сховищах даних сучасних ERP-систем. В них реалізована аналітична система обробки даних OLAP [5]. Вона заснована на понятті OLAP кубів. Найбільш поширеними схемами сховищ даних є схеми типу «Зірка» або «сніжинка». В основі цих схем лежать поняття таблиць фактів і таблиць вимірів. Таблиці фактів зазвичай містять всю повну інформацію про досліджувані об'єкти. Таблиці вимірювань пов'язані з таблицею фактів і задають з неї зрізи.

При будь-якому вигляді денормалізації змінюється структура бази даних. Зміна структури бази даних шляхом денормалізації виявляється виправданим в тих випадках, якщо час виконання запитів в нереструктурізованій базі даних буде більше ніж час виконання запитів в реструктурізованій базі і час виконання додаткової обробки, необхідної для підтримки цілісності даних [6].

## Висновки

Розглянуто загальне поняття сучасних інформаційних систем. Виділена найпопулярніша модель зберігання даних - реляційна. Також розглянута актуальність оптимізації запитів в реляційних базах даних. Виділені основні види оптимізації: логічна і семантична. Систематизовані підходи до денормалізації структури бази даних. Розглянута денормалізація бази даних з використанням матеріалізованих уявлень, а також критерії ефективності використання матеріалізованих уявлень.

Розглянуті підходи до оптимізації запитів засновані на зміні їх внутрішньої структури, тобто визначенні послідовності виконуваних операцій - вибору оптимального плану виконання запиту.

Денормалізована структура бази даних містить дублікати інформації, що зберігається в різних таблицях, що дозволяє створювати різні запити з використанням різних таблиць для отримання однієї і тієї ж інформації.

## Список літератури

1. Griffiths, P.G., and Wade, B. W. 1976. An authorization mechanism for a relational database system. *ACM Trans. Database Syst.* 1, 3 (Sept.), 242-255.
2. Stonebraker, M. 1975. Implementation of integrity constraints and views by query modification. In *Proceedings of the ACM-SIGMOD International Conference on Management of Data (San Jose, Calif., May 14-16)*. ACM, New York, pp. 65-78.
3. Reimer, M. 1983. Solving the phantom problem by predicative optimistic concurrency control. In *Proceedings of the 9th International Conference on Very Large Data Bases (Florence, Italy)*. VLDB Endowment, Saratoga, Calif., pp. 81-88.
4. Codd, E.F. 1971. A database sublanguage founded on the relational calculus. In *Proceedings of the ACM-SIGFIDET Workshop, Data Description, Access, and Control (San Diego, Calif., Nov. 11-12)*. ACM, New York, pp. 35-68.
5. Gotlieb, L. R. 1975. Computing joins of relations. In *Proceedings of the ACM-SIGMOD International Conference on Management of Data (San Jose, Calif., May 14-16)*. ACM, New York, pp. 55-63.
6. Astrahan, M.M., and Chamberlin, D.S. 1975. Implementation of a structured English query language. *Commun. ACM* 18, 10 (Oct.), 580-588.
7. Бойко В.В., Савинков В.М. Проектирование баз данных информационных систем // М.: Финансы и статистика, 1989. – С. 351.
8. Бочаров Е.П. Интегрированные корпоративные информационные системы. Учебное пос., 2007. – 288 с.
9. Коннолли Т., Бегг К., Страчан А. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика. 2-е изд. Пер. с англ. М.: Издат. дом «Вильямс», 2000. – 1120 с.

Надійшла до редколегії 22.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ

И.В. Ильина, Д.С. Кадубенко, Д.А. Ильин

*Анализируются подходы минимизации времени для получения необходимой информации из базы данных, а также критерии и параметры запросов, которых необходимо придерживаться в процессе разработки. Рассматриваются вопросы создания и оптимизации запросов для повышения производительности, что позволяют сделать функционирование базы данных наиболее эффективными. Обоснована необходимость использования данных подходов в разных структурах.*

**Ключевые слова:** база данных, минимизации времени, СУБД, Oracle, алгоритм поиска, оптимизация запроса.

## IMPROVING THE PERFORMANCE OF DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS

I.V. Ilina, D.S. Kadubenko, D.O. Ilin

*The article discusses time minimization approaches for obtaining the necessary information from the database, as well as criteria and parameters, adherence to the development process, creation and maintenance of optimization of productivity enhancement, make it work most efficiently. Justified the need for availability in various structures now.*

**Key words:** database, time minimization, DBMS, Oracle, search algorithm, query optimization

А.А. Коваленко<sup>1</sup>, Г.А. Кучук<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків<sup>2</sup> Національний технічний університет "ХПИ", Харків

## СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Аналізуються сучасне базове технічне та програмне забезпечення комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування. Сформульовано загальні вимоги до комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування та їх компонент. Визначені тенденції розвитку та існуючі потреби комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування.

**Ключові слова:** комп'ютерна система об'єкт критичного застосування.

### Вступ

У сучасній Українській державі переважна більшість об'єктів критичного застосування (ОКЗ) включає до свого складу комп'ютерні системи (КС) у якості одного з найголовніших та найкритичніших компонентів. Їхня інформаційна складова призначена для отримання, обробки, зберігання, передачі, відображення, реєстрації даних про стан та (або) функціонування систем та елементів конструкції ОКЗ [1]. Управляюча складова, в свою чергу, призначена для ініціювання спрацювання технологічних систем при порушенні заданих проектних меж або умов експлуатації та (або) безпосереднього впливу на технологічне обладнання з метою зміни стану або функціонування ОКЗ [2].

КС призначені для виконання певного набору основних та допоміжних функцій, в залежності від призначення КС. Серед основних інформаційних

функцій можна виділити наступні: функції моніторингу, функції архівування результатів моніторингу, функції відображення та сигналізації, функції реєстрації. До основних управляючих функцій можна віднести: функції регулювання, функції дискретного управління, функції обмеження, функції захисту, функції блокування [3]. Серед додаткових варто виділити допоміжні та сервісні функції. На сьогодні існуючі КС можуть бути поділені на такі [4]:

- системи нормальної експлуатації: виконують зазначені інформаційні функції та (або) управляючі функції;

- системи безпеки: виконують функції запобігання переростанню аварійної ситуації в аварію та поверненню ОКЗ до контрольованого стану.

Структурно, до складу КС входять усі компоненти, що є необхідними для реалізації вказаних основних та додаткових функцій. В загальному випадку, такими компонентами є такі (рис. 1):

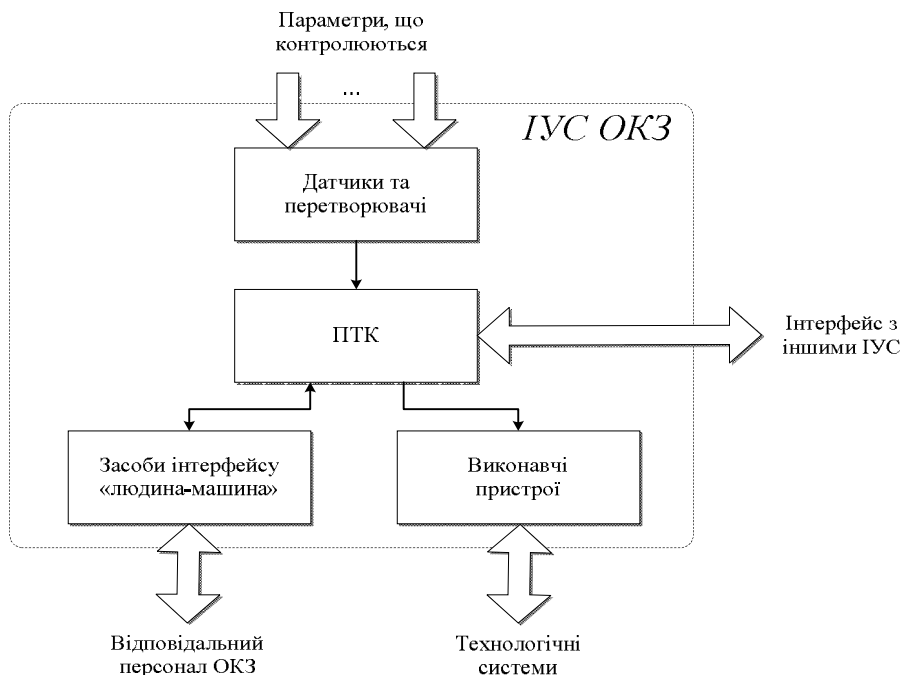


Рис. 1. Структурна схема комп'ютерної системи об'єкта критичного застосування

- програмно-технічний комплекс (ПТК), що формує центральну частину КС;
- датчики і перетворювачі;
- засоби інтерфейсу «людина-машина»;
- з'єднувальні кабелі;
- допоміжні вироби;
- сервісне обладнання;
- програмне забезпечення (ПЗ);
- виконавчі пристрої.

Окрім того, як правило, кожна КС є унікальною, тобто її призначено для конкретного ОКЗ і її не може бути повторено без змін для інших об'єктів критичного застосування.

Отже, метою статті є проведення аналізу сучасного стану та визначення тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування.

## **1. Базове Hardware комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування**

Основним компонентом базового апаратного забезпечення сучасних комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування є програмно-технічний комплекс, що являє собою сукупність технічних засобів, які поставляються комплектно разом з програмним забезпеченням, необхідним сервісним устаткуванням та експлуатаційною документацією. програмно-технічний комплекс реалізує усі основні і додаткові функції КС [5].

З метою підвищення надійності передбачається декілька каналів в рамках одного ПТК, або декілька ПТК в одній КС ОКЗ, які одночасно і незалежно приймають участь в реалізації основних функцій та взаємно резервують один одного. Кожен з таких ПТК виконаний у виді сукупності експлуатаційно-автономних складових частин, що з'єднуються на місці експлуатації каналами зв'язку під управлінням власного вбудованого програмного забезпечення.

До основних функцій базового апаратного забезпечення можна віднести наступні:

- приймання і перетворення в цифрову форму сигналів від периферійних пристроїв;
- приймання повідомлень від інших ПТК;
- обробка прийнятої інформації і генерація команд управління;
- формування і видача управляючих сигналів на виконавчі пристрої;
- діагностика стану власного і сполученого обладнання;
- архівація, відображення та реєстрація поточної і ретроспективної інформації;
- підготовка та видача повідомлень для інших ПТК.

Окрім ПТК, до базового апаратного забезпечення можна також віднести допоміжне та сервісне обладнання, тобто усі периферійні пристрої КС ОКЗ.

Вони також є функціонально та конструктивно завершеними виробами, що виконують порівняльно прості функції та забезпечують сполучення комп'ютерних систем з технологічними системами, обладнанням та персоналом.

Експлуатаційно-автономні частини ПТК разом з зазначеним апаратним забезпеченням з'єднуються безпосередньо на місці експлуатації.

## **2. Базове Software комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування**

Програмне забезпечення комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування інтерпретується як сукупність програм, що знаходяться в постійній пам'яті ПТК і усіх «інтелектуальних» периферійних компонентів, а також сервісних програм для налагодження та перевірки КС і її компонентів. Усі компоненти зазначеного ПЗ мають незалежні процеси розробки. ПЗ комп'ютерних систем ОКЗ є її невід'ємною частиною [6. 7].

Системне програмне забезпечення складається з наступних двох компонентів:

- операційне програмне забезпечення, тобто програм, які безпосередньо виконуються в процесі роботи системи: драйвери, сервіси вводу-виводу, комунікаційні драйвери, програми управління перериваннями, програми планування завдань, програми оперативної діагностики, управління надмірністю і поступовою деградацією при відмовах, бібліотеки прикладних програм;

- програмне забезпечення підтримки (або інструментальне програмне забезпечення), тобто програм, які використовуються під час розробки, випробувань або обслуговування операційного ПЗ і апаратного забезпечення:

- компілятори,
- генератори кодів,
- симулятори,
- програми автономного тестування,
- програмні утіліти.

Схему взаємодії апаратних засобів та програмного забезпечення комп'ютерних систем ОКЗ наведено на рис. 2.

Протягом останніх років набуває популярності тренд втілення функціональної декомпозиції, коли складні системні функції розподіляються на ряд істотно простіших, що реалізуються на базі програмованих електронних пристроїв. Водночас використовується структурна декомпозиція, що передбачає участь у виконанні однієї функції декількома послідовно або паралельно підключеними програмованими електронними пристроями.

Це, у свою чергу, призводить до децентралізованого управління та часткової або повної відмови від центральної ЕОМ управління.



Рис. 2. Схема взаємодії апаратних засобів та ПЗ КС ОКЗ

### 3. Загальні вимоги до комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування та їх компонент

Вимоги до сучасних КС ОКЗ регламентуються на світовому та національному рівнях у формі галузевих стандартів, норм та правил. Можна виділити наступні групи вимог [7]:

- функціональні вимоги;
- вимоги до надійності виконання функцій;
- вимоги до стійкості виконання функцій;
- вимоги до якості функціонування;
- вимоги до незалежності функцій, що виконуються;
- вимоги до видів забезпечення;
- вимоги до оцінки та підтвердження відповідності;
- вимоги до експлуатації.

Функціональні вимоги формують профіль вимог, що стосуються функцій контролю і управління процесом для забезпечення безпеки, а також функцій забезпечення функціонування ОКЗ у експлуатаційних режимах.

Вимоги до надійності виконання функцій націлено на прийняття заходів щодо запобігання і захисту від відмов системи з загальної причини, тобто одночасних відмов з однієї причини двох або більше елементів в різних резервованих частинах КС ОКЗ, результатом яких може бути небезпечна відмова КС ОКЗ. Відповідні вимоги формують профіль, який складається із вимог дотримання принципів одиничної відмови, резервування, різноманітності, запобі-

гання помилок персоналу, захисту від несанкціонованого доступу, вимог до показників надійності та вимог до технічного діагностування.

Вимоги до стійкості виконання функцій регламентують профіль вимог до несприйнятливості (стійкості) до зовнішніх факторів впливу. В загальному випадку це такі:

- температура, вологість, тиск, іонізуюче випромінювання, корозійно-активні агенти, пил;
- вібрація, удари, землетруси;
- електричні поля постійного току й токів промислової частоти;
- рідинам та газам, що можуть мати вплив під час аварій;
- змінам та відхиленням електроживлення;
- електромагнітним процесам від іншого обладнання.

Вимоги до якості функціонування формують відокремлений профіль, у якому можна виділити наступні групи: вимоги до точності, вимоги до часових характеристик, вимоги до інтерфейсу «людина-машина», вимоги до щитів управління.

Множину вимог до незалежності функцій, що виконуються, можна звести до наступних груп: забезпечення незалежності, допустимої емісії завад, забезпечення пожежної безпеки.

Вимоги до видів забезпечення відносяться до наступних компонентів КС ОКЗ: ПЗ (функції, структури, елементи; діагностування та самоконтроль; захист від відмов, спотворень, непередбачуваних дій; процес розробки), інформаційне забезпечення (внутрішня та зовнішня бази даних).

Вимоги до оцінки та підтвердження відповідності мають на меті формування адекватних та повних перевірок працездатності і відповідності певним характеристикам на усіх стадіях життєвого циклу КС ОКЗ. Це включає наступні аспекти: апробацію технічних рішень і компонентів, кваліфікацію обладнання, верифікацію ПЗ, валідацію системи, приймальний контроль виробів та випробування при вводі в експлуатацію системи. Вимоги до експлуатації покривають наступне: перевірки та технічне обслуговування, відновлення та ремонт, внесення змін та модернізацію. Останнім часом також спостерігається неухильна тенденція до значного посилення багатьох груп проаналізованих вимог. В значній мірі це стосується посилення вимог до часу реакції КС ОКЗ на події, пов'язані з об'єктом контролю.

#### 4. Тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування

Одним з найпоширеніших трендів щодо розвитку КС ОКЗ та відповідних КС є впровадження нових технологій, які мають безперечні переваги без зниження надійності в цілому. Застосування нових технологій диктується не лише вимогами покращення функцій управління і захисту, а також необхідністю задовольнити такі потреби [7]:

- моніторинг стану;
- моніторинг охорони;
- датчики, що є стійкими до важких навколишніх умов;
- складні електронні компоненти.

В найближчу декаду, КС ОКЗ отримають найбільш стрімкий розвиток в атомній енергетиці, обробній і хімічній промисловості та слідуватимуть наступним тенденціям: розвинуті корпоративні інформаційні системи, бездротова передача даних, інформаційна безпека, широке застосування тренажерів.

З іншого боку, стрімкий розвиток КС ОКЗ повинен підкріплюватися діяльністю, направленою на забезпечення виконання функцій важними для безпеки

системами, структурами і компонентами. Це, в свою чергу, вимагає посилення кваліфікації обладнання, забезпечення якості і забезпечення надійності.

### Висновки

У статті проаналізоване сучасне базове технічне та програмне забезпечення комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування. На основі аналізу сформульовано загальні вимоги до комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування та їх компонент. Визначені тенденції розвитку та існуючі потреби аналізованих комп'ютерних систем.

### Список літератури

1. Системы управления и защиты ядерных реакторов / Под ред. М.А. Ястребенецкого. – К.: Основа-Принт, 2011. – 768 с.
2. Ястребенецкий М.А. Безопасность атомных станций. Информационные и управляющие системы / М.А. Ястребенецкий, В.Н. Васильченко, С.В. Виноградская и др. – К.: Техніка, 2004. – 470 с.
3. Харченко В.С. Новые информационные технологии и безопасность информационно-управляющих систем АЭС / В.С. Харченко, М.А. Ястребенецкий, В.В. Скляр // Ядерная и радиационная безопасность. – 2003. - № 2. – С. 19-28.
4. Ястребенецкий М.А. Надежность автоматизированных систем управления технологическими процессами / М.А. Ястребенецкий, Г.М. Иванова. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 264 с.
5. Рубан І.В. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / І.В. Рубан, Г.А. Кучук, О.П. Давікоза // Системи обробки інформації. — 2013. — № 7. — С. 106-112.
6. Кучук Г.А. Методика синтезу інформаційної технології управління мережевим трафіком / Г.А. Кучук, В.В. Косенко, О.П. Давікоза, С.А. Калкаманов // Системи управління, навігації та зв'язку, 2013, вип. 2(26) – С.138-143.
7. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A. and Ruchkov E. (2016), "Approaches to Selection of Combinatorial Algorithm for Optimization in Network Traffic Control of Safety-Critical Systems", *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016)*, pp. 384–389.

Надійшла до редколегії 28.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

#### СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

А.А. Коваленко, Г.А. Кучук

*Анализируются современное базовое техническое и программное обеспечение компьютерных систем объектов критического применения. Сформулированы общие требования к компьютерным системам объектов критического применения и их компонент. Определены тенденции развития и существующие потребности компьютерных систем объектов критического применения.*

**Ключевые слова:** компьютерная система объект критического применения.

#### THE MODERN STATE AND TRENDS OF DEVELOPMENT OF COMPUTER SYSTEMS OBJECTS OF CRITICAL APPLICATION

A.A. Kovalenko, H.A. Kuchuk

*The modern basic technical and software of computer systems of objects of critical application are analyzed. The general requirements for computer systems of objects of critical application and their components are formulated. The development tendencies and existing needs of computer systems of objects of critical application are determined.*

**Keywords:** computer system object of critical application.

А.В. Коваленко

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ ТЕСТИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ WEB-ПРИЛОЖЕНИЙ

*Разработана имитационная модель технологии тестирования безопасности на основе положений теории масштабирования имитационных моделей, отличающаяся от известных адаптацией выбора входных операторов управления и данных к повышению требований оперативности разработки и реализации модели, что выразилось в реализации процедуры взаимодействия с реальным браузером с использованием средств автоматизации браузера и формировании данных для атаки на нескольких диалектах.*

**Ключевые слова:** оценка рисков, разработка программного обеспечения, уязвимости безопасности

### Введение

Предлагаемый в работе подход к масштабированию имитационной модели основывается на положениях известных теорий масштабирования [7, 8] в которых зафиксированы основные этапы. В частности это выявление операторов, не влияющих на генерацию и ход событий, наблюдение которых требуется для проверки заданных свойств поведения системы (незначимых операторов) и абстрагирование описания имитационной модели от таких операторов [7, 8].

В разрабатываемой имитационной модели технологии тестирования уязвимостей предлагается не только простое абстрагирование от несущественного оператора, а его замена на более эффективный, с точки зрения точности конечных результатов проверки, оператор. Для имитационной модели технологии тестирования уязвимостей Web-приложений разработано программное приложение, проводящее атаки, на которые будет указывать предоставленная пользователем URL ссылка, по приведенным алгоритмам, и анализирующее результат атак на наличие определенной уязвимости в Web-приложении.

### 1. Общие требования и структура имитационной модели

Как было указано выше, для снижения временных затрат на имитационное моделирование было решено провести масштабирование путем замены процедур информационного обмена с сервером с помощью HTTP клиента, на процедуры взаимодействия с реальным браузером с использованием средств автоматизации браузера. Кроме основной цели масштабирования эта замена позволит повысить достоверность результата тестирования атаки с инъекцией JavaScript кода. Как средство автоматизации браузера было выбрано библиотеку Selenium WebDriver.

Анализ литературы показал, что Selenium WebDriver представляет собой инструмент автоматизации браузера, который позволяет разрабатывать программные продукты, имеющие возможность управлять поведением браузера [1-6]. Для работы с

Selenium WebDriver, необходимы следующие программные компоненты:

- Web-браузер (будет автоматизирован);
- драйвер для установленного браузера, который позволяет автоматизировать поведение браузера;
- непосредственно программный продукт, который состоит из набора команд определенного языка программирования для драйвера браузера, предоставляемых специальными библиотеками для многих языков программирования.

При реализации имитационной модели в качестве браузера был выбран Web-браузер Google Chrome. Google Chrome – браузер, разработанный компанией Google на основе браузера с открытым кодом Chromium и другого открытого программного обеспечения [1-6]. Это выбор обусловлен тем, что компанией Google в стратегии развития архитектуры определен факт, что сегодня большинство веб-сайтов являются не просто веб-страницами, но веб-приложениями. В качестве драйвера браузера использован ChromeDriver, который является имплементацией WebDriver для браузера Google Chrome.

Для разработки программного продукта, который будет управлять браузером и выполнять атаки на Web-приложения, необходимо выбрать язык программирования. Для реализации необходимого функционала к языку программирования выдвинуто следующие требования:

- наличие библиотеки команд Selenium WebDriver для данного языка программирования;
- возможность работы с HTTP с помощью нативных или сторонних HTTP клиентов;
- наличие нативной или сторонней системы журналирования с выводом лога в консоль и с сохранением лога в текстовом файле.

Также к языку программирования выдвинуто следующие требования для повышения качества результирующего продукта и повышение эффективности процесса программирования:

- независимость языка программирования от окружения, где будет выполняться программный продукт;

- наличие сторонних библиотек общего назначения;
- наличие инструмента для автоматизированного сбора программы и управления внешними зависимостями.

Существует несколько языков программирования, удовлетворяющие данным требованиям, например, Python, Ruby, Java. Однако, для программной реализации метода тестирования уязвимостей Web-приложений избран язык программирования Java.

Анализ литературы показал, что язык программирования Java соответствует требованиям к независимости от окружения с помощью компиляции исходного Java кода в байт-код, который является упрощенным машинными командами. Затем программу можно выполнить на любой платформе с Java, которая интерпретирует байткод в код, приспособленный к специфике конкретной операционной системы и процессора [1-14]. Сейчас виртуальные машины Java существуют для большинства процессоров и операционных систем.

Для сбора программ, разработанных с использованием языка программирования Java, существует три наиболее распространенные инструменты автоматизированного сбора – Apache Ant, Apache Maven и Gradle. Для реализации данного программного продукта избран инструмент Apache Maven.

Apache Maven – это средство автоматизации работы с программными проектами, который используется для Java проектов для управления и сбора программ. Для описания программного проекта который нужно построить (build), Maven использует конструкцию известную как Project Object Model (POM), зависимости от внешних модулей, компонентов и порядка построения. Maven базируется на плагино-архитектуре, позволяет сделать использование любой программы контролируемым через стандартный вход. Данный инструмент имеет не только функционал со сбором программ, а и по управлению внешними зависимостями и разбиение программного продукта на отдельные независимые модули с последующим сбором в единый модуль [1, 2].

Стандартная библиотека Java предоставляет возможность работы с сетями, в частности, протоколом HTTP [1-14]. Стандартная библиотека Java содержит классы для работы текстом, URL, коллекциями данных и другими функциями общего назначения.

Для языка программирования Java существует библиотека команд Selenium WebDriver [1-6]. Наиболее актуальную версию можно получить из репозитория Maven как отдельную библиотеку или использовать ее как внешнюю зависимость в Java проекте.

Язык программирования Java имеет большое количество библиотек для журнала с возможностями расширенной конфигурации. Для использования в программной реализации метода тестирования уязвимостей Web-приложений выбрано библиотеку журнала Apache Log4j Библиотека Apache Log4j2 имеет большое количество функций и возможностей

конфигурации журнала, а именно возможность переадресации журналов выполнения программы к любому потоку вывода, например, в текстовый файл на экран, в сетевой сокет и другие [1-14].

Таким образом, язык программирования Java удовлетворяет всем требованиям, которые были выдвинуты к языкам программирования для возможности реализации метода тестирования уязвимостей Web-приложений. Следует отметить, что для разработки приложения будет использовано последнюю версию Java, а именно Java 8.

Для разработки структуры программной реализации метода тестирования уязвимостей Web-приложений нужно обозначить множество функциональных требований, которые должна реализовывать приложение:

- получение входных параметров, а именно типа уязвимости для тестирования и URL веб-страницы для тестирования, в качестве параметров командной строки;

- для типа уязвимости DOM XSS, программный продукт должен получить код отдельной веб-страницы и код всех внешних Javascript файлов, которые используются. После этого, провести статический анализ всего присутствующего Javascript-кода на наличие определенных маркеров, которые могут приводить к уязвимости;

- для каждого GET-параметра в URL страницы нужно определить тип рефлексии параметра на странице и произвести XSS атаку с соответствующими для типа рефлексии данными и проверить ее результат;

- для типа уязвимости SQL Injection, программный продукт должен для каждого GET-параметра в URL страницы провести Boolean blind based SQL инъекцию и определить ее результат на основе анализа текста веб-страниц, который возвращает сервер;

- детальное логирование хода работы программного продукта на консоль и в файл.

Учитывая данные требования к приложению, общая структура программной реализации будет выглядеть как многоуровневый проект со следующими модулями:

- модуль интерфейса пользователя;
- модуль анализа уязвимостей DOM XSS;
- модуль анализа уязвимости к SQL инъекции;
- модуль функций общего назначения.

## 2. Структура Maven проекта

Из основных источников литературы [1-6], используемых в работе известно, что Java-программа представляет собой набор скомпилированных Java классов, собранные в исполняемый архив типа .jar.

Проведенный анализ литературы показал, что для сборки программного продукта в .jar файл существует несколько способов.

В данном проекте в качестве инструмента сбора проекта был выбран Apache Maven.

Исследования показали, что жизненный цикл сбора Maven проекта содержит фиксированный набор фаз, выполняемых одна за одной. Жизненный цикл по умолчанию состоит из следующих фаз:

- validate (выполняется проверка корректности проекта с точки зрения Maven);
- compile (выполняется компиляция файлов исходного кода);
- test (осуществляется тестирование скомпилированного кода с помощью предоставленного набора модульных тестов);
- package (реализуется упаковка скомпилированного кода в определенную форму дистрибуции, например в JAR архив);
- install (перемещается результат упаковки в локальный репозиторий для использования в локальных проектах);
- deploy (перемещается результат упаковки к удаленному репозиторию для использования другими разработчиками).

Apache Maven использует один или несколько файлов *pom.xml* для представления в формате XML структуры Java проекта. Project Object Model (POM) и содержит информацию о структуре проекта, внутренних и внешних зависимостях, информации о процессе сбора проекта и плагинов, которые будут использоваться при определенных фазах сбора проекта [2].

Maven поддерживает структуру многомодульных проектов посредством подражания и агрегации проектов.

Это достигается введением дополнительных артефактов со специальным маркером в файлах *pom.xml*.

При использовании такой конфигурации, общие характеристики и настройки свойства можно выносить в базовый файл *pom.xml*, который будет унаследован проектами-потомками.

Минимальными необходимыми элементами файла *pom.xml* есть координаты проекта, содержат следующие элементы:

- `groupId` – уникальный идентификатор проекта или организации, которая разрабатывает проект. Используется как аналог пакета в языке Java.
- `artifactId` – уникальный идентификатор артефакта в проекте. Артефактом может быть как сам проект, так и модуль многомодульного проекта.
- `version` – версия артефакта. Используется для Версионирование артефактов в репозитории.
- `packaging` – тип артефакта проекта Maven. В общем случае имеет значение `jar` для обычных проектов или отдельных модулей, и `pom` для многомодульного проекта (агрегатора).

Для программной реализации метода тестирования уязвимостей Web-приложений был избран многомодульная структура, следовательно, Maven проект также будет разработан как многомодульный проект с несколькими модулями.

Таким образом, учитывая общую структуру приложения, Maven проект будет состоять из корне-

вого проекта, проекта модулю интерфейса, проекта модулю функций общего назначения, корневого проекта модулей анализа уязвимостей и непосредственно проектов модулей анализа уязвимостей.

Предложенная структура Maven проекта является расширяемой, так как наличие корневых проектов позволяет легко подсоединить дополнительные модули анализа уязвимостей.

Корневой Maven проект (*dxss-sqli-framework*) определяет идентификатор группы для всех дочерних проектов как *com.ntukhpi.kit.serg\_sem*. Проект является агрегатором, поэтому параметр *packaging* имеет значение *pom*.

```
<groupId> com.ntukhpi.kit.serg_sem </groupId>
<artifactId>dxss-sqli-framework</artifactId>
<version>1.0-SNAPSHOT</version>
<packaging>pom</packaging>
```

Корневой проект является агрегатором модулей, то есть проект содержит ссылки на все дочерние проекты, используемых в приложении.

```
<modules>
  <module>framework-core</module>
  <module>attack-modules</module>
  <module>core-utils</module>
</modules>
```

Проект также содержит зависимости, используемые всеми дочерними проектами, а также указание Maven использовать версию 8 языка программирования Java при компиляции исходных файлов.

```
<build>
  <plugins>
    <plugin>
      <groupId>org.apache.maven.plugins</groupId>
      <artifactId>maven-compiler-plugin</artifactId>
      <version>1</version>
    <configuration>
      <source>1.8</source>
      <target>1.8</target>
    </configuration>
  </plugin>
</plugins>
</build>
```

Проект модуля функций общего назначения называется *core-utils*. Проект имеет тип упаковки *jar* и является дочерним к проекту *dxss-sqli-fraework*.

```
<artifactId>core-utils</artifactId>
<packaging>jar</packaging>
<parent>
  <artifactId>dxss-sqli-framework</artifactId>
  <groupId>com.ntukhpi.kit.mark_dubrovskiy</groupId>
  <version>1.0-SNAPSHOT</version>
</parent>
```

Корневой проект модулей анализа уязвимостей называется *attack-modules*. Проект является агрегатором, поэтому параметр *packaging* имеет значение *pom*. Данный проект является дочерним для *dxss-sqli-fraework* и содержит ссылки на проект *core-utils* как зависимость.

```
<artifactId>attack-modules</artifactId>
<packaging>pom</packaging>
<parent>
  <artifactId>dxss-sqli-framework</artifactId>
  <groupId> com.ntukhpi.kit.serg_sem </groupId>
  <version>1.0-SNAPSHOT</version>
```



```

</parent>
<modules>
  <module>sqli-module</module>
  <module>dxss-module</module>
</modules>
<dependencies>
  <dependency>
    <groupId> com.ntukhpi.kit.serg_sem </groupId>
    <artifactId>core-utils</artifactId>
    <version>1.0-SNAPSHOT</version>
  </dependency>
</dependencies>

```

Проект модуля анализа уязвимости DOM XSS называется *dxss-module*. Проект имеет тип упаковки *jar* и является дочерним к проекту *attack-modules*.

Проект модуля анализа уязвимости к SQL инъекции называется *sqli-module*. Проект имеет тип упаковки *jar* и является дочерним к проекту *attack-modules*.

Проект модулю интерфейса называется *framework-core*. Проект имеет тип упаковки *jar*, является дочерним для *dxss-sqli-fraework* и содержит ссылки на проекты *sqli-module* и *dxss-module* как зависимости.

Общая иерархия проектов в многомодульном Maven проекте *ghtlcnfdktyf* на рис. 1.

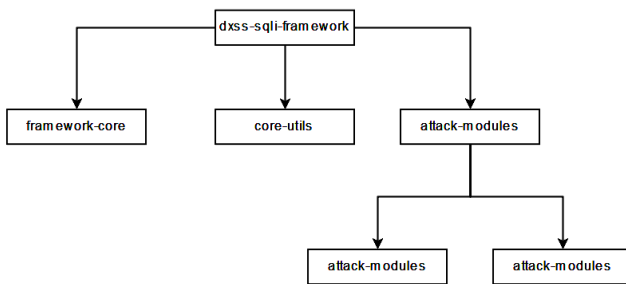


Рис. 1. Иерархия проектов в многомодульном Maven проекте

### 3. Структура модуля интерфейса

В разработанной имитационной модели технологии тестирования уязвимостей, модуль интерфейса отвечает за запуск приложения, обработку параметров командной строки, и выполнение теста Web-приложения на наличие определенной уязвимости в зависимости от переданных параметров командной строки. Для запуска приложения, разработанного на языке программирования Java, нужен класс, который содержит статический метод *main*, аргументами к которому передаются параметры командной строки. В программной реализации имитационной модели метода тестирования уязвимостей Web-приложений данный класс называется *Application*. Данный класс передает параметры командной строки другим классам на обработку и обрабатывает исключительные ситуации во время выполнения программы.

Для обработки параметров командной строки с целью максимальной масштабируемости использован шаблон проектирования «Команда». Команда – это шаблон проектирования, который относится к классу шаблонов поведения [3]. Он инкапсулирует запрос в форме объекта, что, в свою очередь, позво-

ляет использовать единый интерфейс выполнения различных действий. Данный шаблон проектирования целесообразно использовать при работе с командной строкой, когда более чем один вариант работы приложения. UML диаграмма шаблона проектирования «Команда» приведена на рис. 2.

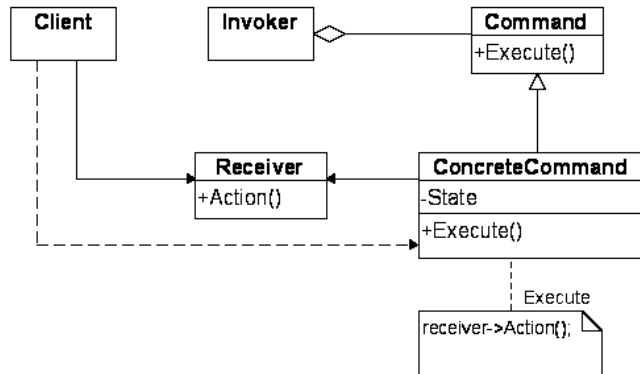


Рис. 2. UML диаграмма шаблона проектирования «Команда»

Структурные элементы шаблона выполняют следующие функции:

- Command – объявляет интерфейс выполнения операции;
- ConcreteCommand – реализует конкретную команду, вызывая определенные методы объекта Receiver;
- Client – создает объекты ConcreteCommand и устанавливает ее получателей;
- Invoker – обращается к командам с целью выполнения.

UML диаграмма реализации данного шаблона проектирования приведена на рис. 3. В данной реализации шаблона «Команда» присутствует интерфейс *Command*, его имплементации *SqlInjectionAttack* и *DomXssAttack*, а также контейнер команд *CommandHolder*.

В качестве структурного элемента *Invoker* шаблона проектирования «Команда» выступает класс *Shell*, который принимает параметры командной строки от класса *Application* и использует их для получения нужного объекта – команды и его выполнение. Таким образом, общая UML диаграмма модуля интерфейса изображена на рис. 4.

### 4. Структура модулей анализа уязвимостей к SQL инъекции и DOM XSS

Как было указано выше модуль анализа уязвимостей DOM XSS предназначен для анализа отдельной Web-страницы на наличие уязвимости DOM XSS. В соответствии с алгоритмом тестирования уязвимости на DOM XSS, модуль имеет классы для получения Javascript кода Web-страницы, классы для анализа Javascript кода и класс для проведения атак.

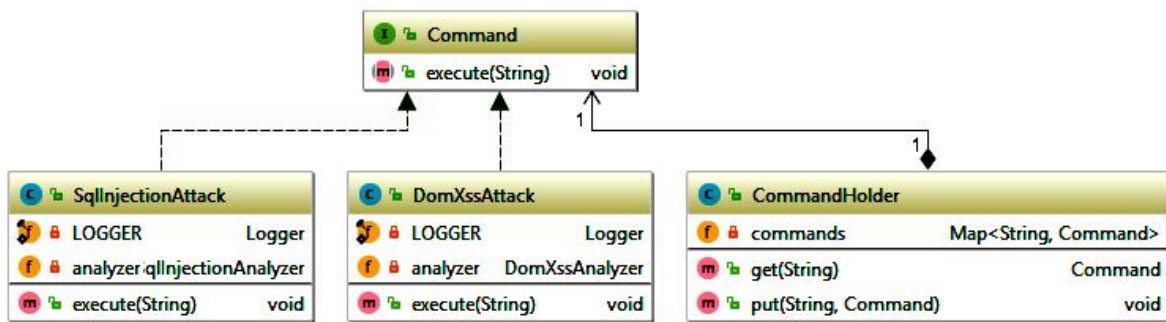


Рис. 3. UML діаграма реалізації шаблону проектування «Команда»

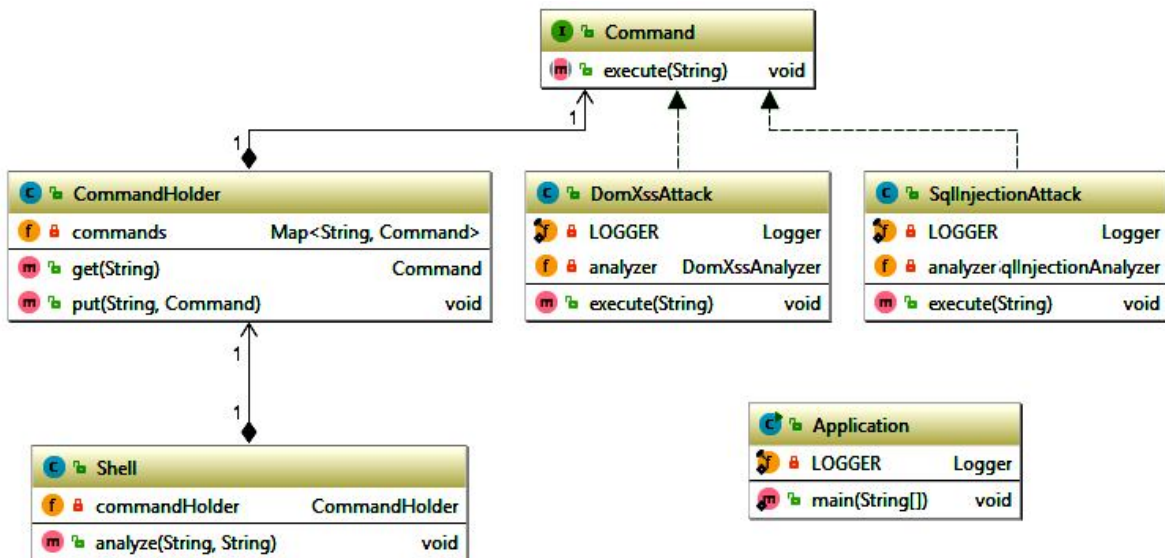


Рис. 4. Общя UML діаграма модуля інтерфейса

Главным классом модуля является класс *DomXssAnalyzer*, который отвечает за непосредственно анализ Web-страницы, на которую указывает переданный URL на наличие уязвимости DOM XSS. Данный класс компонует все классы модуля для выполнения анализа и является ответственным за определение типа рефлексии GET параметра URL, а также непосредственно за проведение атаки.

Класс *DomScanner* используется для анализа исходного HTML кода страницы и получения списка всех тегов *script* с их содержанием. Класс содержит потоковый HTML «парсер» в виде класса *ResponseHtmlHandler*, который формирует список тегов *script*.

Для выполнения анализа Javascript кода страницы на наличие маркеров уязвимости к DOM XSS атак, используются классы *Javascript* и *JavascriptScanner*. Класс *Javascript* используется для описания характеристик единицы Javascript кода Web-страницы, а именно его тип (внешний или внутренний), ссылку на внешний файл, непосредственно Javascript код и список маркеров уязвимости, который заполняется после анализа. Класс *JavascriptScanner* используется для получения содержания внешних Javascript файлов и для анализа Javascript кода на наличие маркеров уязвимости в виде стоков и истоков.

Класс *PayloadGenerator* используется для генерации данных для атаки в зависимости от типа рефлексии параметра GET запроса URL.

Общя UML диаграмма модуля анализа уязвимостей DOM XSS приведена на рис. 5.

Модуль анализа уязвимости к SQL инъекции предназначен для анализа отдельной Web-страницы на наличие уязвимости к SQL инъекции через GET параметр URL Web-страницы. Главным классом модуля является класс *SqlInjectionAnalyzer*, который отвечает за проведение Boolean blind SQL инъекции и анализа результата атаки с целью определения наличия потенциальной уязвимости.

Одной из сложностей тестирования уязвимости к SQL инъекций является большое количество диалектов SQL в зависимости от используемой системы управления базами данных. Этот факт заставляет формировать данные для атаки на нескольких диалектах для максимального покрытия векторов атаки. С одной стороны это увеличивает количество входных данных имитационной модели, повышает сложность проекта и негативно влияет на общие временные характеристики реализации и проведения тестирования уязвимости. С другой стороны, используя предложенный подход масштабирования можно существенно снизить сложность проекта, не ухудшая качественных характеристик.

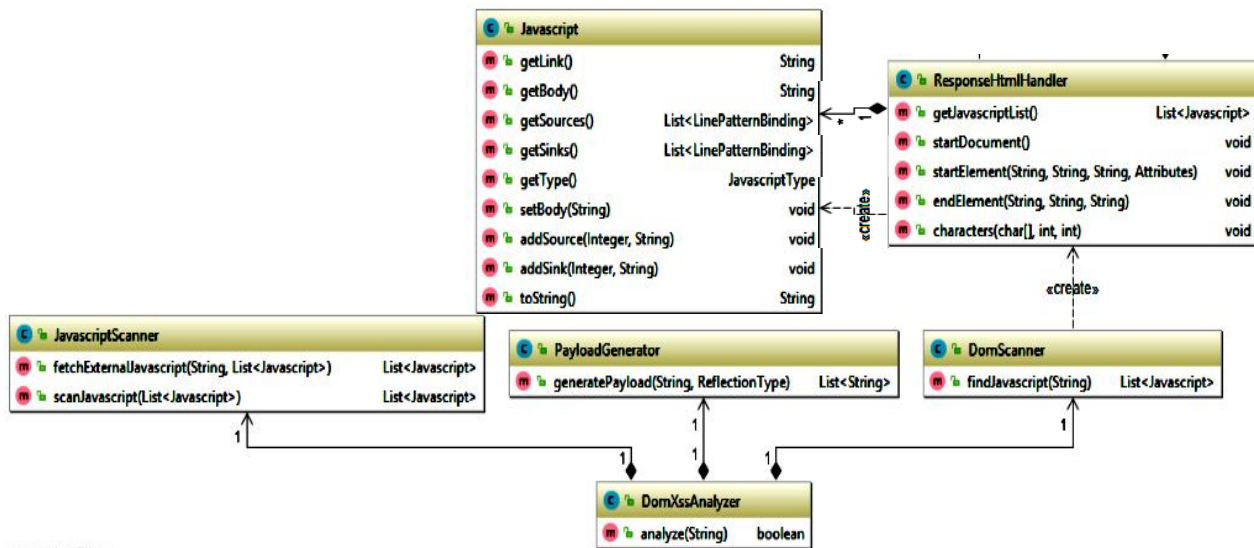


Рис. 5. UML діаграма модуля аналізу уязвимостей DOM XSS

Учитывая это и с целью устранения дублирования кода, в приложении реализован интерфейс DBMSSpecificPayload, который описывает метод, возвращающий список данных для проведения атаки с учетом конкретной системы управления базами данных. Классы, реализующие данный интерфейс, являются Common, Oracle и MySql для общих дан-

ных атаки, данных, специфичных для систем управления базами данных Oracle и MySQL соответственно. Данные для атаки хранятся в приложении в виде класса BooleanBlindPayload, который включает в себя необходимые для проведения атаки данные.

Общая UML диаграмма модуля анализа уязвимости к SQL инъекции приведена на рис. 6.

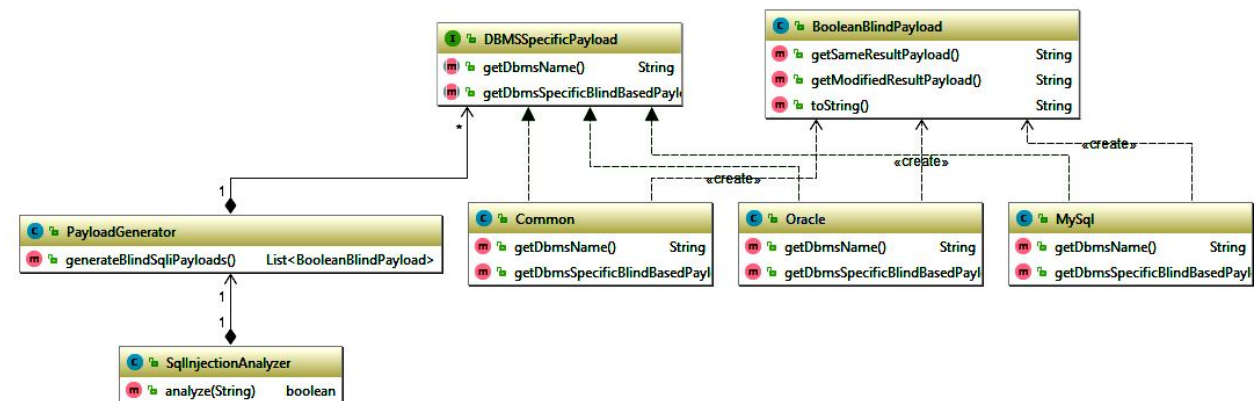


Рис. 6. UML діаграма модуля аналізу уязвимости к SQL инъекции

## 5. Структура модуля функций общего назначения

Модуль функций общего назначения предоставляет набор функций для работы с URL ссылками и их параметрами, а также для взаимодействия с сервером непосредственно с помощью протокола HTTP.

Для преобразования URL и манипуляции параметрами URL используется класс UriUtils. Поскольку функции преобразования URL и манипуляции их параметрам не имеют состояния, они реализованы как статические методы.

Для взаимодействия с сервером по протоколу HTTP используется класс HttpUtils. Данный класс реализует шаблон проектирования «Строитель» для строительства внутреннего класса HttpGetRequest. Строитель – образующая шаблон проектирования,

позволяет отделить конструирование сложных объектов от их реализации [4]. В данном случае, шаблон использован для конструирования сложного объекта класса HttpGetRequest, который инкапсулирует результат выполнения GET запроса протокола HTTP. UML диаграмма модуля функций общего назначения изображена на рис. 7.

Имитационная модель технологии тестирования уязвимостей Web-приложений является комплексным программным обеспечением с большим количеством модулей и классов, что в свою очередь, создает проблему компоновки классов между собой. Этой проблемы можно избежать уменьшением количества классов, но это приведет к увеличению, сильно связанных между собой классов, в свою очередь, усложнит разработку, поддержку, читабельность и масштабируемость программного обеспечения.



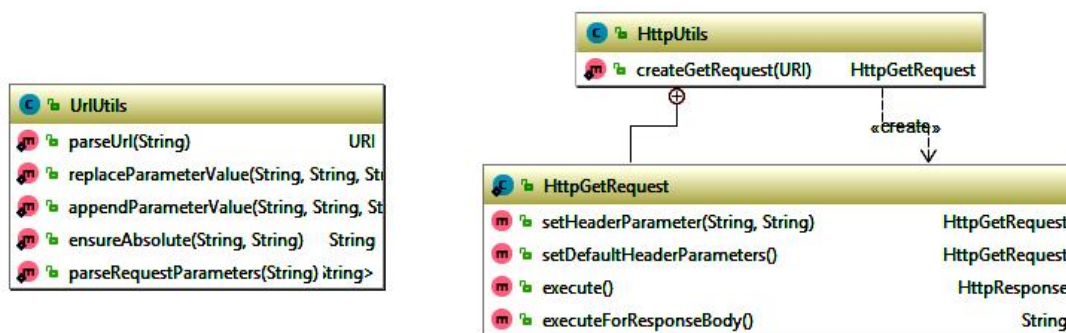


Рис. 7. UML діаграма модуля функцій общего назначения

Для решения задачи компоновки классов использовано механизмы «внедрения зависимостей» [1-14]. Из литературы [1-14] известно, что «внедрение зависимостей» – это шаблон проектирования, в котором зависимости (или сервисы) внедряются, или передаются по ссылке в зависимый объект (клиент) и становятся частью клиентского состояния. Шаблон отделяет создания зависимостей клиента от собственной логики клиента, позволяет компонентам быть слабо связанными и придерживаться принципов инверсии зависимостей и единого долга [1-14]. Существует три основных типа «внедрения зависимостей» в класс:

- внедрение в конструктор;
- внедрение в свойство;
- внедрение в метод.

В общем случае шаблон «внедрения зависимостей» не привязан к программной реализации и не требует отдельных библиотек или фреймворков для реализации, однако, использование контейнеров для «внедрения зависимостей» значительно упрощает процесс разработки.

Одним из самых популярных контейнеров для «внедрения зависимостей» в экосистеме Java является Spring Framework. Spring Framework – фреймворк для приложений, разработанных на языке программирования Java, который предоставляет контейнер для внедрения зависимостей, поддержку аспектно-ориентированного программирования и многие другие функции [5].

Проведенные исследования показали, что актуальной на момент разработки является версия 4.3.8 от 18.04.2017, что свидетельствует о постоянном развитии фреймворка.

Контейнер Spring позволяет централизовать создания объектов приложения и автоматически решить все зависимости созданных компонентов. При этом, контейнер берет на себя задачи по созданию компонентов, управлению их жизненных циклов и уничтожению компонентов при уничтожении контейнера. Spring также поддерживает еще один вид «внедрения зависимостей», а именно инъекция в частную поле.

Для решения зависимостей Spring использует внешний конфигурационный файл в виде XML фай-

ла или Java класса. Использование контейнера Spring имеет следующие этапы:

1. Конфигурация контейнера во внешнем файле.
2. Создание контекста приложения со ссылкой на файл конфигурации.
3. Получение необходимых компонентов из контекста.

Для разработки имитационной модели технологии тестирования Web-приложений было выбрано конфигурацию контейнера для «внедрения зависимостей» в виде Java класса. Каждый модуль многомодульного проекта содержит свой класс с конфигурацией, который отвечает за создание компонентов только своего модуля, после чего все конфигурационные файлы будут использованы при создании контекста приложения, что, в свою очередь, приведет к созданию контейнера для «внедрения зависимостей» Spring и созданию всех необходимых компонентов приложения.

Класс конфигурации компонентов Spring имеет определенную структуру. Минимальным требованием к классу является аннотирование класса аннотацией `@Configuration`, что позволяет использовать класс для конфигурации контейнера для внедрения зависимостей при запуске приложения. Класс конфигурации должен содержать методы, создают компоненты приложения. Данные методы должны быть аннотированные аннотацией `@Bean`. При использовании Spring, для полного внедрения всех зависимостей все компоненты должны быть созданы в конфигурационных классах. В случае использования нескольких конфигурационных классов, должен существовать главный конфигурационный класс, аннотированный кроме аннотации `@Configuration` также аннотацией `@Import`, содержащей ссылку всем остальным конфигурационных классов.

Таким образом, получила дальнейшее развитие имитационная модель технологий тестирования безопасности Web-приложений. В основу разработки положены основные положения теории масштабирования имитационных моделей в рамках алгоритмического упрощения на основе оценки транзитивной зависимости по управлению и данным. Отличительной особенностью разработанной имита-

ционной модели является адаптация выбора входных операторов управления и данных к повышению требований оперативности разработки и реализации модели, выраженная в реализации процедуры взаимодействия с реальным браузером с использованием средств автоматизации браузера и формировании данных для атаки на нескольких диалектах.

Такие изменения позволили снизить вычислительную сложность процедур тестирования уязвимостей к SQL инъекции и DOM XSS до 1,5 раз.

## 6. Тестирование имитационной модели разработанной технологии

Опишем процедуру тестирования имитационной модели на примере анализа уязвимостей DOM XSS. Для тестирования имитационной модели в соответствующем режиме нужно запустить собранный проект с параметрами командной строки `dxss [URL]`. Для тестирования было выбрано Web-приложение `https://xss-game.appspot.com/level1`, которое представлено фирмой Google для тренировки навыков инженеров по информационной безопасности. Проведенный анализ показал, что данное Web-приложение создано с известной уязвимостью к DOM XSS атакам.

Разработанное приложение в режиме тестирования имеет следующие параметры командной строки:

```
dxss https://xss-game.appspot.com/level1/frame?query=123
```

После запуска приложения открывается окно браузера с соответствующим URL (рис. 8).

После открытия Web-страницы выполняется анализ Javascript кода на странице. При анализе в журнале приложения выводится информация о найденных Javascript файлах и их типах (рис. 9).

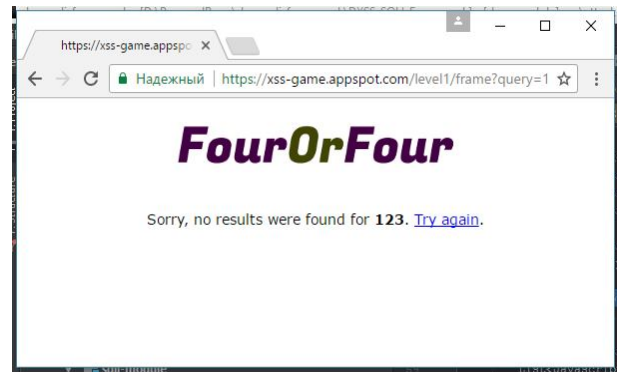


Рис. 8 Внешний вид окна браузера с соответствующим URL

```
[00:51:58] INFO: Fetching HTML contents from https://xss-game.appspot.com/level1/frame?query=123
[00:55:32] INFO: Javascript /static/game-frame.js is external. Fetching external JS.
[00:55:46] INFO: Found 1 javascript tags in page. Starting analysis for possible DOM XSS sources and sinks
[00:55:49] INFO: Scan complete. Found 1 javascript tags with possible XSS vulnerabilities
```

Рис. 9. Внешний вид информации о найденных Javascript файлах и их типах

После анализа Javascript кода на наличие маркеров уязвимости выполняется определение типа рефлексии параметра URL. Для этого генерируется уникальное значение и вставляется как значение параметра URL, после чего выполняется переход по ссылке (рис. 10).



Рис. 10 Внешний вид окна определения типа рефлексии параметра URL

Затем, исходя из типа рефлексии параметра, определяется набор данных для атаки и проводится атака с каждым набором данных. Для простоты тестирования в качестве маркера было использовано диалоговое окно Alert.

В случае успешной атаки набор данных записывается (логгируется) в текстовый файл (рис. 11).

## Выводы

В работе получила дальнейшее развитие имитационная модель технологии тестирования безопасности на основе положений теории масштабирования имитационных моделей. Отличительной особенностью разработанной имитационной модели является адаптация выбора входных операторов управления и данных к повышению требований оперативности разработки и реализации модели, выраженная в реализации процедуры взаимодействия с реальным браузером с использованием средств автоматизации браузера и формировании данных для атаки на нескольких диалектах.

В основу предложенного подхода алгоритмического упрощения имитационного моделирования проложены усовершенствованные процедуры оценки транзитивной зависимости по управлению и данным. Определено допустимость и целесообразность использования оценки транзитивной зависимости, что снизит вычислительную сложность реализуемых алгоритмов по сравнению с алгоритмами оценки прямой зависимости до 1,5 раз.

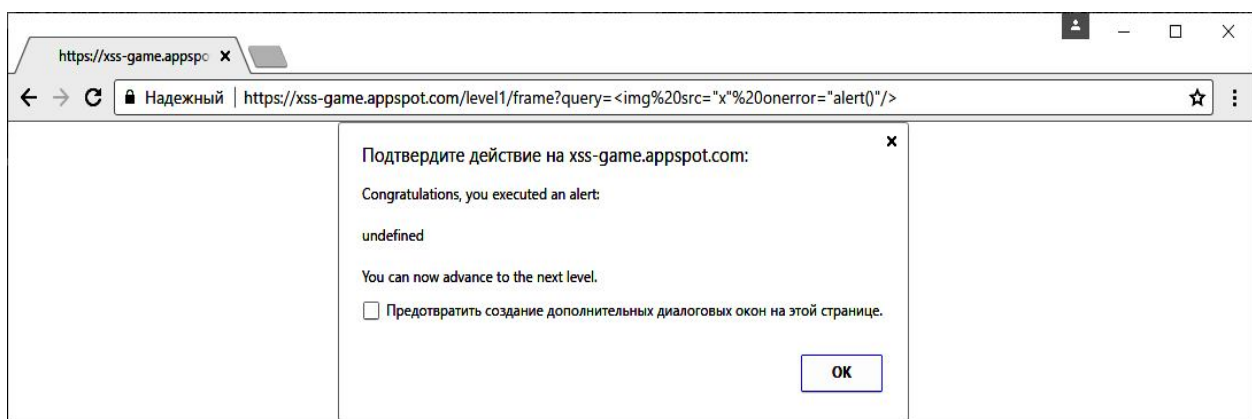


Рис. 11 Внешний вид окна сигнализирующего об успешно проведенной DOM XSS атаке

## Список литературы

1. Maven – Introduction: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://maven.apache.org/what-is-maven.html>.
2. Maven – POM Reference: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://maven.apache.org/pom.html>.
3. Gamma E. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. / Erich Gamma. – Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1995.
4. Fowler M. Inversion of Control Containers and the Dependency Injection pattern: [Електронний ресурс] / Martin Fowler. – Режим доступу: <https://martinfowler.com/articles/injection.html>.
5. Spring Framework: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://projects.spring.io/spring-framework/>.
6. Ranganath V., Amtoft T., Banerjee A., Dwyer M., Hatcliff J. A new foundation for controldependence and slicing for modern program structures. Technical report 8, santos lab, Kansas State University, 2004.
7. Савенков К. О. Использование зависимостей при масштабировании имитационных моделей. In Методы и средства обработки информации. Труды второй Всероссийской научной конференции, pages 428–434. – М.: Издательский отдел факультета Вычислительной Математики и Кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005.
8. Семенов С.Г., Швачич Г.Г., Карпова Т.П., Волнянский В.В. Застосування багатопроцесорних систем для удосконалення технологічних процесів // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2016. – Вип. 3(140) С. 221-226.
9. Коваленко А.В. Методы качественного анализа и количественной оценки рисков разработки программного обеспечения / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко // Системи обробки інформації. – Вип. 5(142). – Х.: ХУПС, 2016. – С. 153-157.
10. Проблемы анализа и оценки рисков информационной деятельности / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, Н.Н. Якименко, А.П. Доренский // Системи обробки інформації. – Вип 3(140). – Х.: ХУПС, 2016. – С. 40-42.
11. Метод качественного анализа рисков разработки программного обеспечения / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, Н.Н. Якименко, А.П. Доренский // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – Випуск 2(23). – Харків: ХУПС. – 2016. – С. 150-158.
12. Метод количественной оценки рисков разработки программного обеспечения / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко, Н.Н. Якименко, А.П. Доренский // Збірник наукових праць ХУПС. Вип. 2 (47). – Харків: ХУПС, 2016. – С. 128-133.
13. Коваленко А.В. Использование псевдобулевых методов бивалентного программирования для управления рисками разработки программного обеспечения / А.А. Смирнов, А.В. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Випуск 1 (37). – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – С. 98-103.
14. Коваленко А.В. Метод управления рисками разработки программного обеспечения / А.В. Коваленко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Вип. 2 (38). – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – С. 93-100.

Надійшла до редколегії 30.11.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, с.н.с. С.Г. Семенов, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

## ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЇ ТЕСТУВАННЯ БЕЗПЕКИ WEB-ДОДАТКІВ

О.В. Коваленко

У даній роботі розроблено імітаційну модель технології тестування безпеки на основі положень теорії масштабування імітаційних моделей, що відрізняється від відомих адаптацією вибору вхідних операторів управління і даних до підвищення вимог оперативності розробки та реалізації моделі, що виразилося в реалізації процедури взаємодії з реальним браузером з використанням засобів автоматизації браузера і формуванні даних для атаки на декількох діалектах.

**Ключові слова:** оцінка ризиків, розробка програмного забезпечення, уразливості безпеки.

## IMITATION MODEL OF TECHNOLOGY OF SAFETY TESTING OF WEB-APPLICATIONS

O.V. Kovalenko

In this paper, a simulation model of security testing technology has been developed based on the theory of scaling of simulation models, which differs from those known for adapting the choice of input control and data operators to the increase in the requirements for the rapid development and implementation of the model, which resulted in the implementation of the procedure for interacting with a real browser using browser automation tools And the formation of data for attack in several dialects.

**Keywords:** risk assessment, software development, security vulnerability.

Н.Г. Кучук<sup>1</sup>, Н.В. Лукова-Чуйко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

<sup>2</sup> Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

## ЕФЕКТИВНІСТЬ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ E-LEARNING В ГІПЕРКОНВЕРГЕНТНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

У статті запропонований метод оцінки ефективності управління ресурсами e-learning в гіперконвергентному середовищі. Формалізована структура системи управління ресурсами e-learning, визначені основні критерії ефективності її роботи. Наведена оцінка оперативності функціонування органів управління електронними освітніми ресурсами та оцінка обґрунтованості вироблення рішень. Виведені аналітичні вирази для розрахунку статистичних характеристик даних показників.

**Ключові слова:** e-learning, електронний освітній ресурс, орган управління.

### Вступ

Розподілені хмарні платформи на ринку ІТ-технологій поступово витісняються конвергентними і гіперконвергентними платформами [1]. Інфраструктури, що створюється на конвергентній платформі, припускають об'єднання пам'яті, обчислювальних і мережних ресурсів в пул, заздалегідь сконфігурований для роботи в дата-центрі [2], а 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 [3]. При цьому для управління електронними освітніми ресурсами (ЕОР) часом досить одного системного адміністратора. Це істотно знижує витрати на обслуговування системи. Тому на сьогодні дана платформа є однією із кращих для університетського e-learning. Мета використання e-learning складається в управлінні знаннями кожного учня на основі достовірної оцінки його знань. Характерними для e-learning є такі риси: незалежність територіального положення того, хто навчається; гнучкий індивідуальний графік проходження навчального плану, відсутність суб'єктивності екзаменатора при оцінці знань тощо [4]. Базою e-learning є електронні освітні ресурси, під якими в загальному випадку розуміють сукупність засобів програмного, інформаційного, технічного та організаційного забезпечення, електронних видань, що розміщуються на електронних носіях [5]. При цьому актуальною стає проблема ефективного управління ресурсами, підходи до вирішення якої розглядаються багатьма авторами, наприклад, в [6 – 8]. Проте залишилося нерозглянутим завдання оцінки ефективності управління ресурсами, яка одночасно враховує як особливості гіперконвергентного середовища, так і вимоги до функціонування e-learning.

**Мета даної статті** – розробка методу вирішення даного завдання.

### Результати дослідження

У запропонованій в статті [9] математичній моделі (ММ) процесу оперативного перерозподілу ресурсів e-learning гіперконвергентне середовище представлена  $m$ -рівневим деревом  $G_X$  з коренем  $X^0$ :

$$G_X = (\bar{X}, R), \quad (1)$$

де  $\bar{X} = (X^0, \bar{X}^1, \dots, \bar{X}^{m-1})$  – кортеж, що складається з

множини органів управління ЕОР (ОУ) різних рангів;  $X^0$  – головний (центральний) ОУ;  $\bar{X}^i = (X_{1_i}^i, X_{2_i}^i, \dots, X_{\ell_i}^i)$  ( $0 \leq i \leq m-1$ ) – множина ОУ

$i$ -го рангу;  $R = \{r_{jv}^i\}$  ( $0 \leq i \leq m-2$ ;  $1 \leq j \leq \ell_i$ ;

$1 \leq v \leq \ell_{i+1}$ ) – множина дуг графа, що є зв'язками підлеглості між ОУ, індекс  $i$  указує ранг ОУ  $j$ , з якого виходить зв'язок;  $v$  – номер вершини  $(i+1)$ -го рангу, в яку входить зв'язок.

ММ одного циклу процесу навчання описується кортежем [9]

$$M = \langle G_X, G_{C_0}^{m-1}, G_{СК}, G_{СП}, F_{П}, F_{К} \rangle, \quad (2)$$

де  $G_{C_0}^{m-1}, G_{СК}, G_{СП}, G_{C_0}^{m-1}$  – графи цілей та задач ОУ та перерозподілу ресурсів;  $F_{П}, F_{К}$  – координуючі відображення.

Система управління ЕОР – складна організаційна ієрархічна система, тому ефективність процесів, котрими управляють, нерозривно пов'язана з якістю роботи системи управління і зв'язку. Критерії ефективності її роботи можна поділити на зовнішні і внутрішні [10]. Зовнішні критерії тотожні системі критеріїв керованих процесів, вони дозволяють оцінити, як управління впливає на результати, що досягаються. Внутрішні критерії характеризують власне процес управління. Зовнішні критерії використовуються для оцінки ефективності і оптимізації всієї системи; внутрішні критерії системи управління –

для оптимізації процесу управління. Основними внутрішніми характеристиками ОУ є оперативність вироблення рішень та їх обґрунтованість. Обидва ці показники узгоджуються із зовнішніми критеріями: оперативна робота ОУ, направлена на вироблення обґрунтованих рішень, орієнтована на максимальне використання потенційних можливостей об'єктів управління [11]. Перш, ніж оцінювати ефективність управління в ОУ на основі застосування інтерактивних процесів підготовки рішень, деталізуємо структуру управління для випадку вирішення завдань оперативного управління.

Тривалість циклу вироблення рішення визначається сумою двох випадкових величин:

тривалість етапу обґрунтування рішення  $\Delta t_{об}$  ;

тривалість етапу ухвалення рішення  $\Delta t_{пр}$  .

У свою чергу величина  $\Delta t_{об}$  є сумою випадкових тривалостей вироблення окремих варіантів на етапі обґрунтування рішення:

$$\Delta t_{об} = \sum_{\alpha=1}^m \Delta t_{\alpha}^B,$$

де  $m$  – максимальна кількість варіантів, що вироблені на етапі обґрунтування рішення;

$$\Delta t_{\alpha}^B = \Delta t_{\alpha}^3 + \Delta t_{\alpha}^P + \Delta t_{\alpha}^A,$$

де  $\Delta t_{\alpha}^3, \Delta t_{\alpha}^P, \Delta t_{\alpha}^A$  – відповідно часи завдання (З), рішення (Р) і аналізу (А) варіанту  $\alpha$  .

У загальному випадку на кожному з цих інтервалів  $\Delta t_{\alpha}^3, \Delta t_{\alpha}^P, \Delta t_{\alpha}^A$  або при корекції варіанту

$$\Delta t_{\alpha}^M = \Delta t_{B\alpha}^M + \sum_{i_{M\alpha}=1}^{K_{M\alpha}} \Delta t_{ui_{M\alpha}}^M; \Delta t_{пр} = \Delta t_B^C + \sum_{i_C=1}^{I_C} \Delta t_{ui_C}^C, \quad (3)$$

де  $M \in \{3, P, A\}$  ;  $I_{M\alpha}$  – максимально можлива кількість ітерацій на  $M$ -му етапі варіанту  $\alpha$  ;  $\Delta t_{ui_{M\alpha}}^M$  – випадкова тривалість  $i_{M\alpha}$ -ої ітерації  $M$ -го етапу варіанту  $\alpha$  ;  $\Delta t_{ui_C}^C, I_C$  – відповідно випадкова тривалість  $i_C$ -ої ітерації та максимальна кількість ітерацій при корекції основного варіанту.

У загальному випадку кількість ітерацій і їх тривалості є різними як на окремих етапах  $\Delta t_{\alpha}^3, \Delta t_{\alpha}^P, \Delta t_{\alpha}^A$  , так і при виробленні різних варіантів.

Не втрачаючи спільності міркувань можна припустити, що через вимоги до оперативності ухвалення рішень при виробленні варіанту  $\alpha$  можливі ітераційних циклів не більш, ніж

$$I_{\alpha} = I_{3\alpha} + I_{P\alpha} + I_{A\alpha}. \quad (4)$$

Ймовірність  $Q_{i_{M\alpha}}^{M\alpha}$  того, що на  $M$ -му етапі обробки варіанту  $\alpha$  дорівнює  $i_{M\alpha}$  ітераціям така:

$$Q_{i_{M\alpha}}^{M\alpha} = \left(1 - P_{i_{M\alpha}}^M\right) \prod_{j_{M\alpha}=0}^{i_{M\alpha}-1} P_{j_{M\alpha}}^M, \quad (5)$$

де  $P_{i_{M\alpha}}^M$  – ймовірність наявності  $j_{M\alpha}$ -го ітераційного циклу,  $j_{M\alpha} \leq I_{\alpha}$  . Тривалість окремої ітерації  $\Delta t_u$  визначається сумою випадкових інтервалів часу підготовки питання  $\Delta t_u^n$  , підготовки відповіді  $\Delta t_u^m$  і аналізу відповіді  $\Delta t_u^k$  . Випадкові величини  $\Delta t_u^n$  і  $\Delta t_u^m$  , а також  $\Delta t_u^n$  і  $\Delta t_u^k$  є залежними.

Позначимо через  $f_i(\Delta t_u^{M\alpha})$  щільність розподілу (ЩР) випадкової тривалості  $i$ -ої ітерації  $M$ -го етапу варіанту  $\alpha$  . Тоді при виконанні умови незалежності тривалості ітерацій між собою, що цілком відповідає дійсності, ЩР тривалості  $M$ -го етапу варіанту  $\alpha$  з урахуванням (5) така:

$$\begin{aligned} f_{M\alpha}(\Delta t^{M\alpha}) &= Q_B f_B(\Delta t_B^{M\alpha}) + Q_1 f_1(\Delta t_B^{M\alpha}) \times \\ &\times f_1(\Delta t_u^{M\alpha}) + \dots + Q_{i_{M\alpha}} f_{i_{M\alpha}}(\Delta t_B^{M\alpha}) \cdot f_1(\Delta t_u^{M\alpha}) \times \\ &\times \dots \times f_{i_{M\alpha}}(\Delta t_B^{M\alpha}) + \dots + Q_{k_{M\alpha}} f_{k_{M\alpha}}(\Delta t_B^{M\alpha}) \times \\ &\times f_1(\Delta t_u^{M\alpha}) \cdot \dots \cdot f_{k_{M\alpha}}(\Delta t_B^{M\alpha}) = Q_B f_B(\Delta t_B^{M\alpha}) + \\ &+ \sum_{i_{M\alpha}=1}^{k_{M\alpha}} Q_{i_{M\alpha}} \prod_{j_{M\alpha}=1}^{i_{M\alpha}} f_{j_{M\alpha}}(\Delta t_u^{M\alpha}) \cdot f_B(\Delta t_B^{M\alpha}), \end{aligned} \quad (6)$$

де  $Q_B$  – ймовірність того, що на  $M$ -му етапі вироблення варіанту  $\alpha$  рішення приймається автоматично;  $f_B(\Delta t_B^{M\alpha})$  – ЩР тривалості  $M$ -го етапу у вказаному режимі. Тоді ЩР тривалості варіанту  $\alpha$  така:

$$f_{\alpha}(\Delta t_{\alpha}) = f_{A\alpha}(\Delta t_{A\alpha}) \cdot f_{P\alpha}(\Delta t_{P\alpha}) \cdot f_{3\alpha}(\Delta t_{3\alpha}). \quad (7)$$

В результаті ЩР тривалості циклу вироблення управляючого рішення дорівнює

$$\begin{aligned} f_u(\Delta t_u) &= Q_0 + \left[ F_1^B f_1(\Delta t_1) + F_2^B f_1(\Delta t_1) \cdot f_2(\Delta t_2) + \right. \\ &+ \dots + Q_{\alpha}^B f_1(\Delta t_1) \cdot \dots \cdot f_{\alpha}(\Delta t_{\alpha}) + \\ &+ Q_m^B f_1(\Delta t_1) \cdot \dots \cdot f_m(\Delta t_m) \left. \right] \cdot f_c(\Delta t_c) = \\ &= Q_0 + \left[ \sum_{\alpha=1}^m Q_{\alpha} \prod_{v=1}^{\alpha} f_v(\Delta t_v) \right] \cdot f_c(\Delta t_c), \end{aligned} \quad (8)$$

де  $Q_0$  – ймовірність того, що при виробленні рішення не аналізуватимуться варіанти;  $Q_{\alpha}^B$  – ймовірність того, що буде проаналізоване  $\alpha$  варіантів.

Щільність розподілу тривалості етапу корекції вибраного варіанту визначається як

$$f_c(\Delta t_c) = Q_0^c f_B(\Delta t_B^c) + \sum_{i_c=1}^{I_c} Q_{i_c} \prod_{j_c=1}^{i_c} f_{j_c}(\Delta t_u^c) \cdot f_B(\Delta t_B^c), \quad (9)$$

де  $I_c$  – кількість ітерацій на етапі корекції;  $Q_0^c$  – ймовірність відсутності ітерацій, а  $f_{j_c}(\Delta t_u^c)$  – ЩР тривалості  $j_c$ -ої ітерації етапу корекції.



**Оцінка оперативності функціонування ОУ електронними освітніми ресурсами**

Перейдемо до оцінки оперативності функціонування ОУ. Під оперативністю відповідно до [12] будемо розуміти здатність системи управління досягти поставлених цілей своєчасно виробляти і доводити до керованих підсистем управляючі дії.

Тоді оперативність можна оцінювати як ймовірність того, що тривалість циклу не перевищуватиме деякого заданого значення  $T_{зад}^u$ , тобто

$$P(\Delta t_{ц} < T_{зад}^u) = Q_0 + \int_0^{T_{зад}^u} \left[ \sum_{\alpha=1}^m Q_{\alpha} \prod_{v=1}^{\alpha} f_v(\Delta t_v) \right] \cdot f_c(\Delta t_c) d\Delta t. \quad (10)$$

При визначенні математичного сподівання часу підготовки відповідей необхідно враховувати, що процесі підготовки відповідей є взаємодія з підлеглими ОУ. Тому випадкову величину  $\Delta t_{ц}^u$  у визначенні тривалості ітерацій на всіх етапах вироблення варіанту можна представити у вигляді суми

$$\Delta t_{ц}^u = \Delta t_D + \Delta t_{цн}^u, \quad (11)$$

де  $\Delta t_{цн}^u$  – випадковий час підготовки відповіді в ітераційному режимі з підлеглим ОУ;  $\Delta t_D$  – випадковий час роботи по підготовці відповіді без звернення до підлеглих ОУ. Часи  $\Delta t_{цн}^u$  залежить від кількості ітерацій на кожному з етапів вироблення варіантів і тривалості кожної з них. Тривалість кожної ітерації визначається у вигляді суми

$$\Delta t_{цн}^u = \Delta t_{н1}^u + \Delta t_{н2}^u + \Delta t_{н3}^u + \Delta t_{н4}^u, \quad (12)$$

де  $\Delta t_{н1}^u, \Delta t_{н2}^u, \Delta t_{н3}^u, \Delta t_{н4}^u$  – відповідно випадкова тривалість підготовки питань до підлеглих ОУ, встановлення зв'язку з ними, підготовки відповідей підлеглими ОУ і обробки відповідей.

Випадкова величина  $\Delta t_{н1}^u$  є залежною від  $\Delta t_{н3}^u$  і  $\Delta t_{н4}^u$ , оскільки підготовка питань може здійснюватися під час формування відповідей підлеглими ОУ на раніше поставлені ним питання, а деяка частина часу обробки відповідей одночасно використовується і для підготовки наступного питання.

**Оцінка обґрунтованості вироблення рішень**

Другим важливим критерієм оцінки ефективності процесу управління є обґрунтованість вироблення рішень. Обґрунтованість належить до основних критеріїв, що характеризують орган управління, і може бути визначена як ступінь наближення вибраного рішення до оптимального [14].

В рамках імовірнісного методу обґрунтованість визначається як ймовірність вибору правильного або оптимального рішення. Точність управлінських рішень  $\eta$  можна оцінювати по абсолютних відхилен-

нях параметрів управління від екстремальних значень, властивих оптимальним рішенням, тобто

$$\eta = \max_{\ell} \eta_{\ell} = \max_{\ell} |x_{\ell}^{(0)} - x_{\ell}|, \ell = \overline{1, u}. \quad (13)$$

Погрішності  $\eta_{\ell} = x_{\ell}^{(0)} - x_{\ell}$  є випадковими величинами. Позначимо їх закон розподілу для  $\ell$ -го параметра як  $f(x_{\ell})$ .

Помилки в значеннях параметрів управління призводять і до помилки в значенні цільової функції  $K(x)$ . Нехай допустимою є помилка в значенні  $K$ , що не перевищує  $\Delta K$ . Приймаючи, відповідно до [13], те, що відрізка  $[-\Delta K, \Delta K]$  відповідає гіперкубу  $-\varepsilon_{\ell} \leq \sigma_{\eta_{\ell}} \leq \varepsilon_{\ell}$ ,  $\ell = \overline{1, u}$  та те, що є відомою залежність  $\varepsilon_{\ell} = \varepsilon_{\ell}(\Delta K)$ , котра дозволяє за значенням  $\Delta K$  встановити максимально допустиме відхилення  $\varepsilon_{\ell}$  кожного з параметрів  $\ell$  управління від його оптимального значення  $x_{\ell}^{(0)}$ , ймовірність  $P_p$  отримання рішення, що за цільовою функцією буде відхилятися від оптимального на величину, яка не перевищує  $\Delta K$ , дорівнює

$$P_p = \prod_{\ell=1}^u \left[ \int_{-\varepsilon_{\ell}}^{\varepsilon_{\ell}} f(x_{\ell}) dx_{\ell} \right]. \quad (14)$$

Тоді ймовірність вибору правильного рішення при розгляді одного варіанту визначається як [14]:

$$P = \frac{1}{m_0} \prod_{\ell=1}^{u-\mu} \left[ \int_{-\varepsilon_{\ell}}^{\varepsilon_{\ell}} f(x_{\ell}) dx_{\ell} \right], \quad (15)$$

де  $u$  – максимальна кількість параметрів управління;  $\mu$  – кількість параметрів управління, що не оптимізуються;  $P = 1/m_0$  – умовна ймовірність вибору правильного рішення при розгляді одного варіанту (за умови, що помилки формально оптимального рішення не перевершать заданих значень);  $m_0$  – середнє значення, тобто в середньому достатня для визначення якнайкращого варіанту кількість досліджуваних варіантів. Залежно від характеристик обстановки, що конкретно складається, кількість досліджуваних варіантів  $m$  може бути як менше, так і більше  $m_0$ , тобто обґрунтованість вирішення

$$P = 1 - \prod_{\alpha=1}^m \left( 1 - \frac{1}{m_0} \prod_{\ell_{\gamma}=1}^{u_{\gamma}-\mu_{\gamma}} \left[ \int_{-\varepsilon_{\ell_{\gamma}}}^{\varepsilon_{\ell_{\gamma}}} f(x_{\ell_{\gamma}}) dx_{\ell_{\gamma}} \right] \right). \quad (16)$$

При цьому математичне сподівання  $M(T_{ц})$  часу циклу визначається виразом

$$M(T_{ц}) = \sum_{\alpha=1}^m \left( 1 - P_{\alpha}^B \right) \prod_{v=0}^{\alpha-1} P_v^B \left\{ (1 - P_{0v}) \times \times M(\Delta t_{Bv}) + \sum_{i_{3v}=1}^{K_{3v}} \left( 1 - P_{i_{3v}}^B \right) \prod_{j_{3v}=0}^{i_{3v}-1} P_{j_{3v}}^B M(\Delta t_{ui_{3v}}^3) \right\}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum_{i_{Pv}=1}^{K_{Pv}} (1 - P_{i_{Pv}}) \prod_{j_{Pv}=0}^{i_{Pv}-1} P_{j_{Pv}} M(\Delta t_{ui_{Pv}}^P) + \\
& + \sum_{i_{Av}=1}^{K_{Av}} (1 - P_{i_{Av}}) \prod_{j_{Av}=0}^{i_{Av}-1} P_{j_{Av}} M(\Delta t_{ui_{Av}}^A) \Big\} + (1 - P_0^B) \times (17) \\
& \times M(\Delta t_B^C) + \sum_{i_C=1}^{K_C} (1 - P_{i_C}^C) \prod_{j_C=0}^{i_C-1} P_{j_C}^C M(\Delta t_{uj_C}^C).
\end{aligned}$$

Аналіз формул (12) та (17) дозволяє зробити висновок, що значення критеріїв можуть бути покращені при скороченні часу підготовки відповідей  $\Delta t_{\text{ч}}^{\text{III}}$  та  $\Delta t_{\text{HЗ}}^{\text{III}}$  і час встановлення зв'язку  $\Delta t_{\text{HЗ}}^{\text{III}}$ .

## ВИСНОВКИ

Запропонований метод оцінки ефективності управління ресурсами e-learning в гіперконвергентному середовищі, що базується на розробленій математичній моделі процесу розподілу ресурсів e-learning. Метод припускає визначення двох внутрішніх показників ефективності роботи даної системи: оперативність вироблення рішень і їх обґрунтованість. Формалізована структура системи управління ресурсами e-learning, визначені основні критерії ефективності її роботи. Наведена оцінка оперативності функціонування органів управління електронними освітніми ресурсами та оцінка обґрунтованості вироблення рішень. Виведені аналітичні вирази для розрахунку статистичних характеристик даних показників. **Напрямок подальших досліджень** пов'язаний з розвитком моделі процесів функціонування ОУ.

## Список літератури

1. Riverbed Hyper-converged Edge [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.riverbed.com/documentrepository/white-paper--riverbed-hyper-converged-edge.html>.
2. Время конвергентных инфраструктур [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.osp.ru/os/2012/04/13015754>.
3. В чем преимущество гиперконвергентных систем? [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://www.convergedsystem.ru/portfel-produktov-hyperconvergedsystem/giperkonvergentnye-sistemy>.

4. The Babson Survey Research Group [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://www.onlinelearningsurvey.com>.

5. Udaya Sri K., Vamsi Krishna T.V. E-Learning : Technological Development in Teaching for school kids // International Journal of Computer Science and Information Technologies. — 2014. — P. 61.24-61.26.

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. Управление трафиком мультисервисной распределенной телекоммуникационной сети / Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2007. – Вип 2. – С. 18-27.

8. Кучук Н.Г. Обобщенная математическая модель процесса оперативного управления ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций глобального характера / Н.Г. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2015. – Вип. 3 (128). – С. 140-143.

9. Кучук Н.Г. Математична модель процесу оперативного перерозподілу обчислювальних ресурсів в гіперконвергентному середовищі / Н.Г. Кучук, С.М. Нечаусов // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2017. – Вип. 3(43). – С. 80-83.

10. Fenton B. Fault diagnosis of electronic systems (using artificial intelligence) / B. Fenton, M. McGinnity, L. Maguire // IEEE Instrumentation & Measurement Magazine, 2002. – № 9. – P. 16-20.

11. Кучук Г.А. Методика синтезу інформаційної технології управління мережевим трафіком / Г.А. Кучук, В.В. Косенко, О.П. Давікоза, С.А. Калкаманов // Системи управління, навігації та зв'язку, 2013, вип. 2(26) – С.138-143.

12. Тихонов А.Н. Методы и система поддержки принятия решения / А.Н. Тихонов, В.Л. Цветков. – М.: Макс Пресс, 2001. – 312 с.

13. Уткин К.В. Нетрадиционные методы оценки надежности информационных систем / К.В. Уткин, И.Б. Шубинский. – СПб.: Любавич, 2000. – 173 с.

14. Морозов В.П. Элементы теории управления ГАП: Математическое обеспечение / В.П. Морозов, Я.С. Дымарский. – Л.: Машиностроение, 1984. – 333 с.

Надійшла до редколегії 21.01.2018

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.О. Можаяв, Національний технічний університет «ХПН», Харків.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ E-LEARNING В ГИПЕРКОНВЕРГЕНТНОЙ СРЕДЕ

Н.Г. Кучук, Н.В. Лукова-Чуйко

В статье предложен метод оценки эффективности управления ресурсами e-learning в гиперконвергентной среде. Формализованная структура системы управления ресурсами e-learning, определены основные критерии эффективности ее работы. Приведена оценка оперативности функционирования органов управления электронными образовательными ресурсами и оценка обоснованности выработки решений. Выведены аналитические выражения для расчета статистических характеристик данных показателей.

**Ключевые слова:** e-learning, электронный образовательный ресурс, орган управления.

## EFFICIENCY OF E-LEARNING RESOURCE CONTROL IN THE HYPERTENERGENT ENVIRONMENT

N.H. Kuchuk, N.V. Lukova-Chuiko

The article proposes a method for assessing the effectiveness of e-learning resource management in a hyperconverting environment. Formalized structure of e-learning resources management system, the main criteria of its effectiveness are determined. The estimation of the operational efficiency of electronic educational resource management bodies and the estimation of the reasonableness of decision making are presented. The analytical expressions for calculating the statistical characteristics of these indicators are derived.

**Keywords:** e-learning, e-learning resource, management body.

Н.В. Лада, С.Г. Козловська

Черкаський державний технологічний університет, Черкаси

## ЗАСТОСУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ КРИПТОГРАФІЧНОГО ДОДАВАННЯ ЗА МОДУЛЕМ ДВА З ТОЧНІСТЮ ДО ПЕРЕСТАНОВКИ В ПОТОКОВИХ ШИФРАХ

*В статті досліджено та оцінено ефективність застосування операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки в поточкових шифрах. Розроблено метод підвищення надійності поточкового шифрування на основі застосування операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки.*

**Ключові слова:** захист інформації, поточкові шифри, синтез операцій криптографічного додавання, надійність криптоперетворення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В сучасному високоінформатизованому суспільстві все більш гострою стає проблема ефективного захисту інформації, як на рівні персональних даних, так і держави в цілому. Одними з найкращих методів захисту інформації були і залишаються криптографічні методи. Але для успішної протидії зловмисникам, кваліфікація і можливості яких зростають, криптографія також потребує постійного вдосконалення.

Вдосконалення та створення нових методів криптографічного захисту інформації в наш час ведеться за багатьма напрямками: збільшення довжини ключа, покращення гамуючої послідовності, збільшення спектру різноманітних операцій, що можуть бути використані при криптоперетвореннях, тощо. Серед напрямків розвитку криптографії можна виділити побудову операцій криптографічного перетворення на основі застосування логічної функції, які забезпечують побудову високошвидкісних криптографічних примітивів. Проте на сьогоднішній день дані операції розроблялися орієнтовано на блочне шифрування. Спеціалізованим операціям для поточкового шифрування достатньо уваги не приділялося. Враховуючи вище зазначене, актуальною постає проблема розробки методу підвищення надійності поточкового шифрування на основі розширення множини функцій криптоперетворення за рахунок модифікацій операцій криптографічного додавання за модулем два.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1] синтезовано і проаналізовано модифікації базової операції криптографічного додавання за модулем два для криптографічного перетворення зі збереженням інформативності.

У роботах [2, 3] представлені результати дослідження щодо використання операцій додавання за модулем два та перестановки для реалізації матричних операцій криптоперетворення, а також виявлено, що взаємозв'язки між операціями, що застосовуються для криптографічного перетворення на основі матричних моделей, характеризуються циклічністю. В ро-

боті [4] на основі обчислювального експерименту по моделюванню прямих і обернених операцій криптоперетворення для використання в матричних алгоритмах проведено аналіз і дослідження взаємозв'язків між прямими та оберненими матричними моделями операцій криптоперетворення інформації, а також доведена коректність їх використання. В роботах [5, 6] узагальнені результати дослідження щодо виконання модифікованих операцій додавання за модулем два з точністю до перестановки, наведено методiku синтезу повної групи даних операцій та технологію їх досліджень. Проте в даних роботах відсутня оцінка ефективності застосування операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки в поточкових шифрах, а також не досліджено підвищення надійності поточкового шифрування на основі застосування операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки.

**Мета роботи** – розробити метод підвищення надійності поточкового шифрування на основі застосування операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки.

### Основний матеріал

Дослідимо ефективність застосування повної групи синтезованих модифікацій операцій додавання за модулем два з точністю до перестановки. Всі зазначені операції побудовані на базі однієї операції додавання за модулем два шляхом перестановки операндів та результатів виконання операції і мають однакові властивості.

Математичні моделі даних операцій представлені в табл. 1, де  $x_{1,i}, x_{2,j} \in \{0,1\}$  – розряди інформації відповідно,  $i, j \in \{1,2\}$ ,  $\oplus$  – операція додавання за модулем два;  $P_{(0123)}^{\text{op}}$  – перестановка операндів операції, (0123) – варіант перестановки операндів.

Розглянемо можливість використання синтезованої групи модифікацій операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки в поточкових шифрах.

Таблиця 1

Математичні моделі модифікації операцій додавання за модулем два з точністю до перестановки

$P_{(0123)}^{op}(O_1^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.1} \oplus x_{2.1} \\ x_{1.2} \oplus x_{2.2} \end{vmatrix}$	$P_{(1032)}^{op}(O_1^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.1} \oplus x_{2.1} \\ x_{1.2} \oplus x_{2.2} \oplus 1 \end{vmatrix}$	$P_{(2301)}^{op}(O_1^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.1} \oplus x_{2.1} \oplus 1 \\ x_{1.2} \oplus x_{2.2} \end{vmatrix}$	$P_{(3210)}^{op}(O_1^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.1} \oplus x_{2.1} \oplus 1 \\ x_{1.2} \oplus x_{2.2} \oplus 1 \end{vmatrix}$
$P_{(0213)}^{op}(O_2^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.1} \oplus x_{2.2} \\ x_{1.2} \oplus x_{2.1} \end{vmatrix}$	$P_{(1302)}^{op}(O_2^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.1} \oplus x_{2.2} \\ x_{1.2} \oplus x_{2.1} \oplus 1 \end{vmatrix}$	$P_{(2031)}^{op}(O_2^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.1} \oplus x_{2.2} \oplus 1 \\ x_{1.2} \oplus x_{2.1} \end{vmatrix}$	$P_{(3120)}^{op}(O_2^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.1} \oplus x_{2.2} \oplus 1 \\ x_{1.2} \oplus x_{2.1} \oplus 1 \end{vmatrix}$
$P_{(0123)}^{op}(O_3^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.2} \oplus x_{2.1} \\ x_{1.1} \oplus x_{2.2} \end{vmatrix}$	$P_{(1032)}^{op}(O_3^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.2} \oplus x_{2.1} \\ x_{1.1} \oplus x_{2.2} \oplus 1 \end{vmatrix}$	$P_{(2301)}^{op}(O_3^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.2} \oplus x_{2.1} \oplus 1 \\ x_{1.1} \oplus x_{2.2} \end{vmatrix}$	$P_{(3210)}^{op}(O_3^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.2} \oplus x_{2.1} \oplus 1 \\ x_{1.1} \oplus x_{2.2} \oplus 1 \end{vmatrix}$
$P_{(0213)}^{ro}(O_4^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.1} \oplus x_{2.1} \\ x_{1.2} \oplus x_{2.2} \end{vmatrix}$	$P_{(1302)}^{ro}(O_4^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.1} \oplus x_{2.1} \\ x_{1.2} \oplus x_{2.2} \oplus 1 \end{vmatrix}$	$P_{(2031)}^{ro}(O_4^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.1} \oplus x_{2.1} \oplus 1 \\ x_{1.2} \oplus x_{2.2} \end{vmatrix}$	$P_{(3120)}^{ro}(O_4^{\oplus}) = \begin{vmatrix} x_{1.1} \oplus x_{2.1} \oplus 1 \\ x_{1.2} \oplus x_{2.2} \oplus 1 \end{vmatrix}$

Структурна схема потокового шифрування наведена на рис. 1. Для забезпечення можливості реалізації групи модифікованих операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки необхідно проводити додатковий випадковий вибір модифікації операції для кожного елементарного перетворення на основі гамуючої послідовності. Структурна схема потокового шифрування з використанням групи модифікованих операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки наведена на рис. 2.

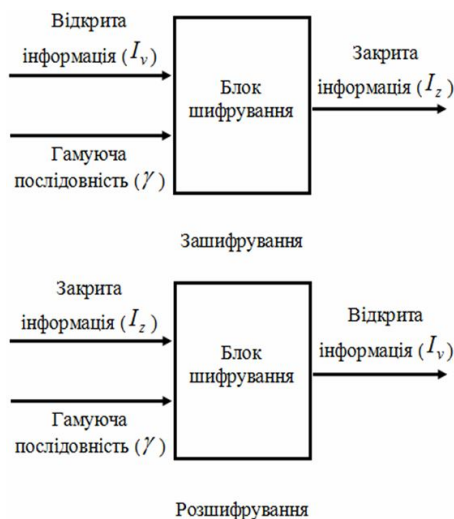


Рис. 1. Структурна схема потокового шифрування

Проведемо оцінку надійності потокового шифрування за допомогою запропонованої схеми, порівняно з класичною. Нехай подія А – правильне функціонування і наявність відкритої вхідної інформації,

тоді  $\bar{A}$  – відсутність відкритої вхідної інформації, подія В – наявність першої гамуючої послідовності, тоді  $\bar{B}$  – відсутність першої гамуючої послідовності, подія С – наявність другої гамуючої послідовності, тоді  $\bar{C}$  – відсутність другої гамуючої послідовності. Результати порівняльного аналізу схем потокового зашифрування наведені в табл. 2.

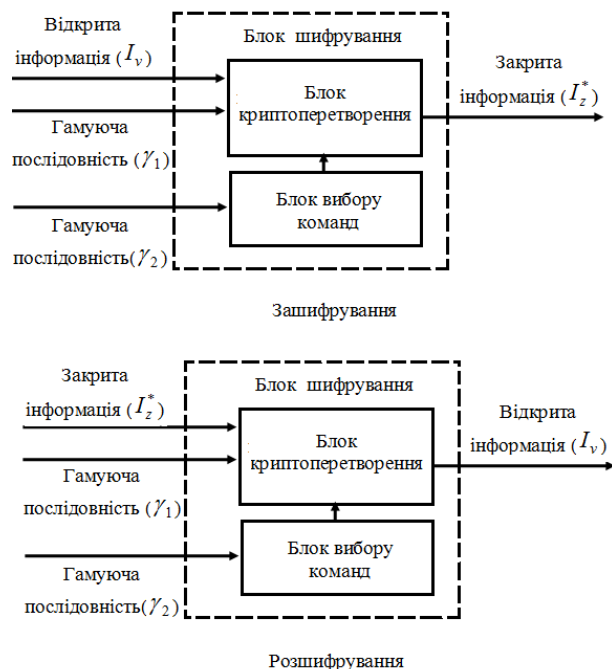


Рис. 2. Структурна схема потокового шифрування з використанням групи модифікованих операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки

Таблиця 2

Результати порівняльного аналізу схем потокового зашифрування

Потокове шифрування	Вхідні канали			Вихідний канал	Коментар за результатами шифрування
	$I_v$	$\gamma_1$	$\gamma_2$		
Із використанням однієї операції (рис. 1)	+	+		$I_z$	Зашифрована інформація
	+	-		$I_v$	Незашифрована інформація (витік інформації)
	-	+		$\gamma_1$	Гамуюча послідовність, (створена передумова до зламу ключа)
	-	-		-	Вихідна інформація відсутня
Із використанням групи операцій (рис. 2)	+	+	+	$I_z^*$	Зашифрована інформація з покращеною якістю шифрування
	+	+	- (+)	$I_z$	Зашифрована інформація
	+	-	-	$I_v$	Незашифрована інформація (витік інформації)
	-	+	+	$\gamma_2(\gamma_1)$	Зашифрована гамуюча послідовність
	-	+ (-)	- (+)	$\gamma_1$ або $\gamma_2$	Гамуюча послідовність, (створена передумова до зламу ключа)
	-	-	-	-	Вихідна інформація відсутня

Повна група подій відмов вхідних каналів схеми потокового шифрування (рис. 1) буде такою:

$$A B \quad A \bar{B} \quad \bar{A} B \quad \bar{A} \bar{B}.$$

Повна група подій відмов вхідних каналів схеми потокового шифрування з використанням групи модифікованих операцій криптографічного додавання за модулем два з точністю до перестановки (рис. 2) буде такою:

$$A B C \quad A B \bar{C} \quad A \bar{B} C \quad A \bar{B} \bar{C} \\ \bar{A} B C \quad \bar{A} B \bar{C} \quad \bar{A} \bar{B} C \quad \bar{A} \bar{B} \bar{C}.$$

Розглянемо вихідні події. Нехай подія D – правильне функціонування і наявність закритої вихідної інформації, тоді  $\bar{D}$  – неправильне функціонування, що приведе до витоку інформації чи відсутності можливості розшифрувати закрити вихідну інформацію. Нехай подія  $D_+$  – правильне функціонування і наявність закритої вихідної інформації з покращеною якістю шифрування. Нехай подія W – неправильне функціонування пристрою через відмову вхідних каналів, що привело до повтору на його виході незашифрованої інформації, створивши тим самим передумову витоку інформації. Нехай подія G – неправильне функціонування пристрою через відмову вхідних каналів, що привело до повтору на його виході гамуючої послідовності, створивши тим самим передумову до зламу ключа. Нехай подія H – неправильне функціонування пристрою через відмову вхідних каналів, що привело до формування на виході зашифрованої гамуючої послідовності, не створивши передумову до зламу ключа. Нехай подія F – неправильне функціонування пристрою через відмову вхідних каналів, що привело до створення передумови витоку інформації чи зламу ключа.

Оцінимо ймовірність виникнення вихідних подій за умови рівномірного розподілу вхідних відмов (вхідних подій). Для цього розглянемо взаємозв'язки між вхідними і вихідними подіями для повної групи вхідних подій. Взаємозв'язки між вхідними і вихідними подіями наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Взаємозв'язки між вхідними і вихідними подіями

Потокове шифрування	Вхідні події	Вихідні події						
		D	$\bar{D}$	$D_+$	W	H	G	F
Із використанням однієї операції (рис. 1)	A B	+	-		-		-	
	A $\bar{B}$	-	+		+		-	+
	$\bar{A}$ B	-	+		-		+	+
	$\bar{A}$ $\bar{B}$	-	+		-		-	
Із використанням групи операцій (рис. 2)	A B C	+	-	+	-	-	-	-
	A B $\bar{C}$	+	-	-	-	-	-	-
	A $\bar{B}$ C	+	-	-	-	-	-	-
	$\bar{A}$ B C	-	+	-	-	+	-	-
	A $\bar{B}$ $\bar{C}$	-	+	-	+	-	-	+
	$\bar{A}$ B $\bar{C}$	-	+	-	-	-	+	+
	$\bar{A}$ $\bar{B}$ C	-	+	-	-	-	+	+
	$\bar{A}$ $\bar{B}$ $\bar{C}$	-	+	-	-	-	-	-

На основі табл. 4 можна встановити таке: ймовірність правильного функціонування запропонованого пристрою буде більшою, оскільки

$$P_D(ABC) = 3/8 > P_D(AB) = 1/4,$$

що забезпечить збільшення надійності до 12,5 %;

ймовірність правильного функціонування запропонованого пристрою і наявність закритої вихідної інформації з покращеною якістю шифрування буде більшою, оскільки

$$P_{D_+}(ABC) = 1/8 > P_{D_+}(AB) = 0;$$

ймовірність неправильного функціонування пристрою через відмови вхідних каналів, що призвело до повтору на його виході незашифрованої інформації, буде меншою, оскільки

$$P_W(ABC) = 1/8 < P_W(AB) = 1/4;$$

ймовірність неправильного функціонування пристрою через відмови вхідних каналів, що призвело до передумов зламу ключа, не зміниться, бо

$$P_G(ABC) = 2/8 = P_G(AB) = 1/4;$$

ймовірність додаткового захисту гамуючої послідовності при виникненні відмов вхідних каналів запропонованого пристрою буде більшою, оскільки

$$P_H(ABC) = 1/8 > P_H(AB) = 0;$$

ймовірність неправильного функціонування пристрою через відмови вхідних каналів, що призвело до створення передумови витоку інформації чи зламу ключа, буде визначатися як  $P_F = P_W + P_G$ , і для запропонованого пристрою буде меншою, оскільки

$$P_F(ABC) = 3/8 < P_F(AB) = 2/4.$$

Проте на практиці ймовірність події одночасного виникнення двох відмов набагато більша за ймовірність однієї відмови. При паралельному функціонуванні пристроїв відмова одного з них не призводить до неправильного функціонування іншого.

Оцінимо і порівняємо ймовірнісні показники роботи пристрою при виникненні однієї відмови в каналах вхідної інформації.

ймовірність правильного функціонування запропонованого пристрою буде більшою, так як

$$P_D^*(ABC) = 3/4 > P_D^*(AB) = 1/3,$$

що забезпечить збільшення надійності до 41,6 %;

ймовірність правильного функціонування запропонованого пристрою і наявність закритої вихідної інформації з покращеною якістю шифрування буде більшою, оскільки

$$P_{D_+}^*(ABC) = 1/4 > P_{D_+}^*(AB) = 0;$$

ймовірність неправильного функціонування пристрою через відмови вхідних каналів, що призвело до повтору на його виході незашифрованої інформації, буде дорівнювати нулю:

$$P_W^*(ABC) = 0 < P_W^*(AB) = 1/3;$$

ймовірність неправильного функціонування пристрою через відмови вхідних каналів, що при-

звело до передумов зламу ключа, буде дорівнювати нулю:

$$P_G^*(ABC) = 0 < P_G^*(AB) = 1/3;$$

ймовірність додаткового захисту гамуючої послідовності при виникненні відмов вхідних каналів запропонованого пристрою буде більшою, оскільки

$$P_H^*(ABC) = 1/4 > P_H^*(AB) = 0;$$

ймовірність неправильного функціонування пристрою при однократних відмовах вхідних каналів, які призводять до створення передумови витоку інформації чи зламу ключа, буде дорівнювати нулю, оскільки

$$P_F^*(ABC) = \\ = P_W^*(ABC) + P_G^*(ABC) = 0 < P_F^*(AB) = 1/2.$$

За результатами порівняння можна зробити висновки, що використання групи операцій додавання за модулем два з точністю перестановки на основі додаткової гамуючої послідовності забезпечить підвищення якості шифрування і надійності роботи, а при однократних відмовах каналів вхідної інформації – виключить можливість створення передумови витоку інформації чи зламу ключа.

Слід зазначити, що при реалізації даного підходу виникає необхідність збільшення ключової послідовності для забезпечення генерації другої гамуючої послідовності, що, в свою чергу, приведе до збільшення не тільки теоретичної, а й практичної стійкості (збільшення довжини ключа).

Отримані результати дозволяють сформулювати метод підвищення стійкості й надійності потокового шифрування, який полягає у виборі для кожного етапу шифрування модифікацій операції за модулем два з точністю до перестановки на основі додаткової гамуючої послідовності, що виключить, при однократних відмовах, можливість витоку інформації чи спрощення зламу ключа.

## Висновки

В статті здійснено аналіз результатів використання операцій додавання за модулем два з точністю

до перестановки в потоковому шифруванні. Розроблено метод підвищення надійності потокового шифрування, який полягає у виборі для кожного етапу шифрування модифікацій операції за модулем два з точністю до перестановки на основі додаткової гамуючої послідовності, що виключить, при однократних відмовах, можливість витоку інформації чи спрощення зламу ключа.

## Список літератури

1. Бабенко В. Г., Лада Н. В. Синтез і аналіз операцій криптографічного додавання за модулем два. Системи обробки інформації: зб. наук. пр. Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2014. Вип. 2 (118). С. 116–118.
2. Бабенко В. Г., Лада Н. В., Лада С. В. Дослідження взаємозв'язків між операціями в матричних моделях криптографічного перетворення. Вісник Черкаського державного технологічного університету. 2016. № 1. С. 5–11.
3. Бабенко В. Г., Лада Н. В., Лада С. В. Аналіз множин операцій, синтезованих на основі додавання за модулем два. Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації: тези доп. П'ятої міжнар. наук.-практ. конф., (Вінниця, 19–21 квіт. 2016). Вінниця: Нілан-ЛТД, 2016. С. 54–57.
4. Лада Н. В. Аналіз коректності взаємозв'язків між прямими та оберненими матричними моделями операцій криптографічного перетворення інформації. Системи управління, навігації та зв'язку: Полтава : ПНТУ, 2015. - Вип. 4 (36). - С. 73–78.
5. Бабенко В. Г., Лада Н. В. Аналіз результатів виконання модифікованих операцій додавання за модулем два з точністю до перестановки. The scientific potential of the present: proceedings of the Internat. sci. conf., (St. Andrews, Scotland, UK, December, 1, 2016) / ed. N. P. Kazymyna. NGO «European Scientific Platform». Vinnytsia: PE Rogalska I. O., 2016. С. 108–111. (Шотландія, Логос)
6. Бабенко В. Г., Лада Н. В. Технологія дослідження операцій за модулем два. Smart and Young: щомісячний наук. журн. 2016. № 11–12. Ч. 1. С. 49–54.

Надійшла до редколегії 27.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

## ПРИМЕНЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО СЛОЖЕНИЯ ПО МОДУЛЮ ДВА С ТОЧНОСТЬЮ ДО ПЕРЕСТАНОВКИ В ПОТОКОВЫХ ШИФРАХ

Н.В. Лада, С.Г. Козловская

*В статье исследовано и оценено эффективность применения операций криптографического сложения по модулю два с точностью до перестановки в потоковых шифрах. Разработан метод повышения надежности потокового шифрования на основе применения операций криптографического сложения по модулю два с точностью до перестановки.*

**Ключевые слова:** защита информации, потоковые шифры, синтез операций криптографического сложения, надежность криптопреобразования.

## APPLYING CRYPTOGRAPHIC ADDITION OPERATIONS BY MODULE TWO WITH ACCURACY OF PERMUTATION IN STREAM CIPHERS

N.V. Lada, S.H. Kozlovskaya

*The paper studies and evaluates the effectiveness of applying cryptographic addition operations by module two with accuracy of permutation in stream ciphers. The method of increasing reliability of streaming encryption based on the use of cryptographic addition operations by module two with accuracy of permutation is developed.*

**Keywords:** information security, stream ciphers, synthesis of cryptographic addition operations, reliability of cryptographic transformation.

Є.В. Мелешко, С.Г. Семенов, В.Д. Хох

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМ В МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ

У роботі розглянуті основні види рекомендаційних систем у мережі Інтернет, засновані на методах контентної та колаборативної фільтрації. Розглянуто способи збору даних про користувачів з веб-ресурсів, необхідні для формування рекомендацій. Досліджено методи побудови класифікаторів для контентної фільтрації. Також досліджено способи обчислення коефіцієнту подібності користувачів або об'єктів у колаборативній фільтрації.

**Ключові слова:** рекомендаційні системи, інтелектуальні системи, контентна фільтрація, колаборативна фільтрація, метрики подібності, алгоритми класифікації.

### Вступ

На сьогоднішній день у сфері інформаційних технологій для просування товарів та послуг все частіше використовують так звані рекомендаційні системи – інструменти автоматичної генерації рекомендацій послуг та товарів на основі вивчення персональних потреб користувачів веб-сайтів. Рекомендаційні системи застосовують, наприклад, такі популярні сайти як YouTube, Amazon, Facebook тощо.

Основною сферою використання рекомендаційних систем на сьогоднішній день є маркетинг, також вони використовуються для ранжування результатів пошукових запитів у пошукових системах, хоча їх застосування може бути значно ширшим. Так як дані системи дозволяють виявляти групи схожих користувачів або об'єктів, їх можна застосувати як альтернативні методи пошуку інформації у мережі Інтернет, тому що вони дозволяють виявити об'єкти, які не можуть бути знайдені традиційними пошуковими алгоритмами.

Також рекомендаційні системи можна використовувати для фільтрації шкідливого контенту, наприклад, спаму.

Рекомендаційні системи – програмне забезпечення, що використовується для прогнозування того, які об'єкти (товари, веб-сайти, фільми, новини тощо) будуть цікаві користувачу, на основі зібраної про нього інформації.

Існують три основні типи рекомендаційних систем в мережі Інтернет [1]:

1. Засновані на контентній фільтрації (content-based filtering).
2. Засновані на колаборативній фільтрації (collaborative filtering).
3. Гібридні методи.

Контентна фільтрація формує рекомендації на основі поведінки користувача, наприклад, на основі того, які веб-сторінки він відвідував раніше, які оцінки поставив товарам тощо.

Колаборативна фільтрація формує рекомендації для певного користувача на основі вподобань групи користувачів, схожих на нього.

Ідея колаборативної фільтрації заснована на тому, що ті користувачі, які однаково оцінювали будь-які предмети в минулому, схильні давати схожі оцінки інших предметів і в майбутньому [2, 5].

Гібридні методи поєднують обидва підходи. Поєднання контентної та колаборативної фільтрації дають можливість отримати більш точні рекомендації. В гібридних методах спочатку здійснюється контентна фільтрація, а потім її результати уточнюються за допомогою колаборативної фільтрації [3].

До найпоширеніших проблем рекомендаційних систем можна віднести проблему *холодного старту* та *бульбашки фільтрів*.

Проблема холодного старту виникає при додаванні нового об'єкту чи користувача до системи. До появи відповідних новому об'єкту чи користувачу оцінок, відсутня інформація для формування рекомендацій.

Проблема бульбашки фільтрів виникає у рекомендаційних та пошукових системах, коли алгоритм видачі інформації веб-сайту вибірково підбирає дані, враховуючи яку інформацію користувач хотів бачити, базуючись на інформації про його вподобання і, в результаті, користувачі відділяються від інформації, яка їх не цікавить або їм не подобається, фактично ізолюючи їх у власних «бульбашках».

Одним зі шляхів підвищення точності роботи рекомендаційних систем та вирішення проблем холодного старту і бульбашки фільтрів є використання контексту, в якому відбувається фіксація вподобань користувача, та контексту, в якому відбувається формування рекомендацій [3, 4].

У якості контексту можуть бути використані дата та час формування рекомендацій, пристрій, з якого користувач відвідав веб-сайт, його демографічні дані тощо.



## 1. Збір даних про користувачів

Інформацію про вподобання можна збирати по-різному. Даними можуть виступати, наприклад, придбані товари, а вподобаннями – поставлені їм оцінки (зірочки, лайки/дизлайки тощо). Також на веб-сайті можна проводити анкетування користувачів.

Найбільш повна інформація для формування вподобань користувачів знаходиться у адміністраторів сайтів. В той же час може виникати необхідність проаналізувати вподобання користувачів тих чи інших інтернет ресурсів, доступу до управління якими немає. У такому випадку існує два шляхи – або користуватися API-функціями сайту [5] (якщо вони є), або проектувати власний веб-кроулер для збору даних, що буде аналізувати код веб-сторінок [6].

Хоча зазвичай API-функції легкі у використанні, не всі сайти надають можливість зібрати необхідну інформацію завдяки API-функціям – такі функції можуть бути повністю відсутніми, або мати обрізаний функціонал, їх використання може бути пов'язаним з рядом обмежень та умов. Також слід враховувати, що час від часу інтерфейс API-функцій змінюється, можуть виходити їх нові версії, що вимагає внесення змін у програмне забезпечення для збору даних.

Нові версії API-функцій можуть містити менше можливостей, так, наприклад, Facebook, починаючи з версії 2.0 Graph API, не дозволяє збирати список друзів будь-якого користувача (можна отримати список друзів тільки користувача даного ресурсу, який встановив ваш додаток) [7].

При збиранні даних за допомогою власного веб-кроулера обмежень значно менше – можна зібрати будь-яку відкриту у вільний доступ інформацію з сайту. Але написання власного веб-кроулера – значно складніша задача, необхідно розібратися в html-верстці чужого сайту, власноруч розробити функції для збору даних з html-коду сайту, вносити зміни або повністю переписувати веб-кроулер кожного разу, коли на досліджуємому сайті змінюється html-верстка.

Для аналізу html-коду веб-сторінок можна скористатися відкритими бібліотеками для парсингу веб-сторінок.

Одним з перспективних способів парсингу веб-сайтів є застосування бібліотеки для автоматизації дій веб-браузера та його тестування Selenium (для мов Java, C#, Ruby, Python, Javascript) [7]. Але основною проблемою буде необхідність розібратися в чужій html-верстці і розробити способи пошуку у ній потрібної інформації.

Пошук необхідних елементів на веб-сторінці можна здійснювати наступними способами:

- пошук за іменем html-тегу;
- пошук за XPath-виразом;
- пошук за cssSelector - даний тип локаторів заснований на описах таблиць стилів (CSS).
- пошук за атрибутом id html-тегу;
- пошук за атрибутом class html-тегу;
- пошук за посиланням з зазначеним текстом;
- тощо.

Наприклад, якщо необхідно отримати список товарів на певній веб-сторінці інтернет-магазину, треба дослідити особливості верстки даного сайту, назви товарів можуть, наприклад, міститися в посиланнях з певними атрибутами певних тегів. Після виявлення закономірностей у верстці сайту, задачу одержання списку товарів можна вирішити за допомогою пошуку по коду сторінки з використанням регулярних виразів та бібліотек для парсингу html-коду.

Методи парсингу веб-сторінок дозволяють зібрати більше інформації та дають більше свободи дій розробнику, але вони складніші в реалізації та більш повільні в роботі порівняно з використанням API-функцій.

## 2. Контентна фільтрація

Рекомендаційні системи з фільтрацією на основі змісту беруть до уваги схожість об'єктів з інформацією відомою про користувача.

Інформація про користувача може бути отримана з його профілю та/або зібрана з його дій на веб-сайті – написаних відгуків та коментарів, придбаних товарів, переглянутих веб-сторінок тощо.

Для створення рекомендацій такі системи аналізують інформацію про користувача, формують ключові слова про його інтереси та вподобання. Рекомендуються будуть об'єкти з бази даних, вибрані на основі визначених ключових слів.

Основні методи класифікації, на основі яких може бути здійснена контентна фільтрація [1, 5]:

1. Класифікатори на основі Байєсівських мереж.
2. Класифікатори на основі нейронних мереж.
3. Класифікатори на основі дерев рішень.
4. Класифікатори на основі алгоритмів кластеризації.

**Класифікатори на основі Байєсівських мереж.** Одним з найвідоміших класифікаторів є найвигідніший байєсівський класифікатор. В його основі лежить ймовірнісна модель теореми Байєса. Для роботи алгоритмів з використанням даного класифікатора необхідно створити модель Байєса для кожного користувача, який оцінював будь-які об'єкти, на основі ознак цих об'єктів (для фільмів це можуть бути актори або жанри, для новин – ключові слова тощо). Для знаходження найбільш ймовірної категорії необхідно обчислити умовні ймовірності приналежно-



сті будь-якого об'єкту до кожної категорії і вибрати ту, яка має найбільшу ймовірність (1):

$$\Pr(C | O) = \Pr(O | C) \cdot \Pr(C) / \Pr(O); \quad (1)$$

$$\Pr(O | C) = \Pr(O | C) = \prod_{i=1}^k \Pr(W_i | C) \quad (2)$$

де  $O$  – об'єкт (товар, послуга тощо);  $C$  – категорія;  $W$  – слово (ознака);  $n$  – кількість слів (ознак);  $\Pr(C)$  – повна ймовірність того, що випадково обраний об'єкт потрапляє у категорію  $C$ ;  $\Pr(O)$  – повна ймовірність появи об'єкту  $O$ ;  $\Pr(W_i | C)$  – умовна ймовірність того, що при наявності слова  $W_i$  в описі об'єкту  $O$ , об'єкт  $O$  відноситься до категорії  $C$ .

Для кожної категорії можна задати порогові значення. Тоді щоб новий об'єкт був віднесений до деякої категорії, ймовірність його віднесення до цієї категорії повинна бути більша ймовірності його потрапляння в будь-яку іншу категорію на величину порогового значення.

Перевагою байєсівських класифікаторів є можливість навчання, простота алгоритму навчання, можливість перегляду даних про важливість ознак, одержану в процесі навчання. Основний недолік – неможливість враховувати залежність результату від поєднань ознак.

**Класифікатори на основі нейронних мереж.**

Штучні нейронні мережі можуть мати різну архітектуру та різні алгоритми навчання, але всі вони складаються з нейронів, загальна структурна схема яких наведена на рис. 1.

На рис. 1 позначено:

$x_1$ -  $x_n$  – входи нейрона (синапси);

$w_1$ -  $w_n$  – вагові коефіцієнти входів;

$S$  – зважена сума входів нейрона;

$F(S)$  – функція активації нейрона;

$T$  – порогове значення (значення, після якого нейрон переходить у стан збудження), є не у всіх типів штучних нейронів;

$Y$  – вихід нейрона (аксон).

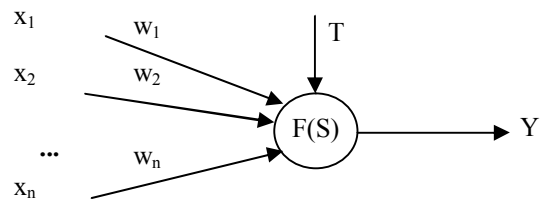


Рис. 1. Загальна структурна схема нейрона у штучній нейронній мережі [8, 9]

Зважена сума  $S$  обчислюється за наступною формулою:

$$S = x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2 + \dots + x_n \cdot w_n \quad (3)$$

Функція активації  $F(S)$  – визначає залежність сигналу на виході нейрона від зваженої суми сигналів на його входах. В якості функції активації можуть використовуватися: лінійна функція, порогова функція, сигмоїдальна функція тощо.

В найпростіших випадках для контентної фільтрації можна застосовувати багатoshаровий перцептрон, якщо є дані для попереднього навчання і мережу Кохонена, якщо доведеться вчити мережу в процесі використання. Розглянемо загальну структуру перцептрону для використання у контентній фільтрації (рис. 2). Входами нейромережі будуть коди ознак об'єктів, а виходами – коди категорій об'єктів. Нейромережа буде містити декілька прихованих прошарків, кількість прошарків та нейронів у них зазвичай визначаються експериментальним шляхом.

Загальною є рекомендація, що кількість нейронів у прихованих прошарках має бути більшою за кількість нейронів у вхідному прошарку.

Зазвичай при побудові нейронної мережі всі вузли створюються заздалегідь. У контентній фільтрації для рекомендаційних систем в [5] пропонується новий прихований вузол створювати тоді, коли зустрічається нова комбінація ознак та створювати для нього зв'язки з вагами за замовчуванням.

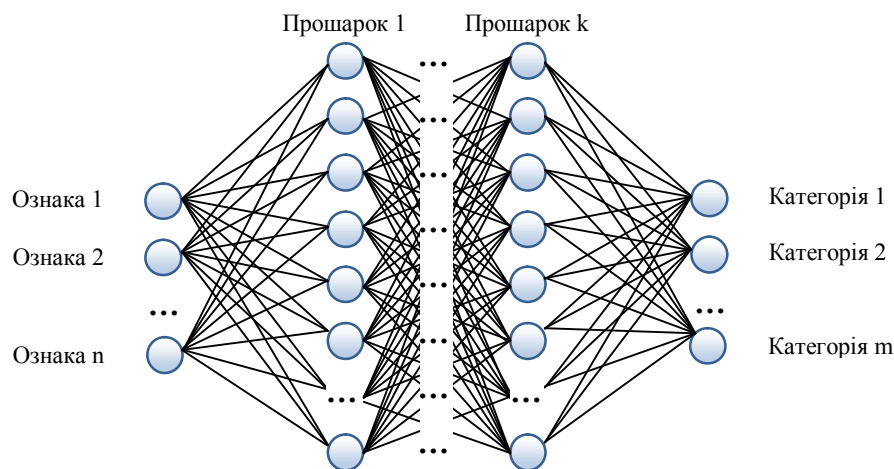


Рис. 2. Загальна схема нейронної мережі для класифікації об'єктів у рекомендаційній мережі

Нейронні мережі здатні справлятися зі складними нелінійними функціями та знаходити залежності між різними вхідними даними. Нейронні мережі допускають адаптивне навчання в процесі використання.

Основні недоліки – вони працюють як чорний ящик, відсутні тверді правила по вибору структури та розміру мережі, швидкості навчання.

**Класифікатори на основі дерев рішень.** Дерево рішень – це модель, яка являє собою сукупність правил для прийняття рішення, в даному разі – рішення, до якої категорії віднести об'єкт. Графічно її можна уявити у вигляді дерева, де вузли – умови переходу, а листки – назви категорій.

Якщо для даного об'єкту умова у вузлі істина то здійснюється перехід по лівому ребру, якщо ж ні, то по правому.

Залежно від рішення, прийнятого у вузлах, об'єкт відноситься до певної категорії.

Метод дерев рішень реалізує *принцип рекурсивного поділу*. Ця стратегія також називається «розділяй і володарюй». У вузлах, починаючи з кореневого, вибирається ознака, значення якої використовується для розбиття всіх даних на 2 класи. Процес триває до тих пір, поки не виконається критерій зупинки. Це можливо в таких ситуаціях:

- Всі (або майже всі) дані даного вузла належать одному і тому ж класу;
- Не залишилося ознак, за якими можна побудувати нове розбиття;
- Дерево перевищило заздалегідь заданий «ліміт зростання» (якщо ліміт було встановлено).

Існують різні чисельні алгоритми побудови дерев рішень. Одним з найбільш відомих є алгоритм під назвою C5.0 [11], розроблений програмістом Джоном Квінланом.

Фактично алгоритм C5.0 є стандартом процедури побудови дерев рішень. Ця програма реалізується на комерційній основі, але версія, вбудована в пакет R доступна безкоштовно.

Дерева рішень корисні не тільки для класифікації, а також і для інтерпретації результатів. На відміну від баєсівського класифікатора легко визначають взаємозалежні ознаки. Але дерева рішень не підтримують адаптивне навчання в процесі використання.

**Класифікатори на основі алгоритмів кластеризації.** Кластеризація (кластерний аналіз) – це задача розбиття множини об'єктів на групи, які називаються кластерами.

Методи кластерного аналізу діляться на: ієрархічні та ітеративні.

Ієрархічні в свою чергу поділяються на агломеративні і дивізімні.

Ієрархічні агломеративні методи послідовно об'єднують окремі об'єкти в кластери.

Ієрархічні дивізімні методи кластеризації полягають, навпаки, у виділенні в окремий кластер об'єктів, що мають найменші показники схожості, при тому, що спочатку вся мережа розглядається як окремий кластер.

Перевагами ієрархічних методів кластеризації є їх наочність і можливість отримати детальне уявлення про структуру даних. Ієрархічні алгоритми пов'язані з побудовою дендрограм, які описують близькість окремих точок і кластерів один до одного та представляють в графічному вигляді послідовність об'єднання (розділення) кластерів. Недоліки ієрархічних методів кластеризації – обмеження об'єму набору даних; вибір міри близькості; негнучкість отриманих класифікацій. Ієрархічні методи використовуються при невеликих об'ємах наборів даних. При великій кількості даних вони не придатні. У таких випадках використовують ітеративні методи.

Ітеративні методи – методи кластеризації, в яких кластери формуються виходячи з умов розбиття, які можуть бути змінені користувачем для досягнення бажаної цілі. Ці методи можуть призвести до утворення перетину кластерів, коли один об'єкт може одночасно належати декільком кластерам. В процесі поділу нові кластери формуються до тих пір, поки не буде виконано правило зупинки. Існує два підходи до розділення набору даних на певну кількість окремих кластерів.

Перший полягає у визначенні меж кластерів як найбільш щільних ділянок в багатовимірному просторі початкових даних, тобто визначення кластера там, де є велике "згущення" точок.

Другий підхід полягає в мінімізації міри відмінності об'єктів.

Найбільш поширений метод ітеративної кластеризації – *метод k-середніх*.

Ітеративні методи можна використовувати для великих об'ємів даних, також вони виявляють вищу стійкість по відношенню до шумів і викидів, некоректного вибору метрики, включення незначущих змінних в набір, що беруть участь в кластеризації. Недоліком ітеративних методів є те, що треба заздалегідь визначити кількість кластерів.

Якщо невідоме число кластерів, треба використовувати ієрархічні алгоритми, або декілька разів використати ітеративні методи з різною кількістю кластерів.

Перевагою контентної фільтрації є те, що для початку роботи рекомендаційної системи не потрібно великої кількості зареєстрованих користувачів. Головним недоліком даного підходу є неможливість системи рекомендувати нові об'єкти, які не прив'язані до інтересів користувачів.

При цьому виникає проблема підтримки зв'язку з користувачем.

### 3. Колаборативна фільтрація

Першим кроком алгоритмів заснованих на колаборативній фільтрації є обчислення коефіцієнтів подоби користувачів або об'єктів, обчислення здійснюються на основі оцінок, які користувачі виставляють об'єктам.

Зібрані дані про оцінки користувачів записуються у матрицю (рис. 3).

	Об'єкт 1	Об'єкт 2	...	Об'єкт n
Користувач 1	5	3	...	3
Користувач 2	4	-	...	2
...	...	...	...	...
Користувач m	-	4	...	4

Рис. 3. Матриця користувачів-об'єктів

В матриці користувачів-об'єктів значення є оцінками конкретного користувача для конкретного об'єкту. Ті осередки, в яких немає значень, є невідомими, тобто для даного об'єкту користувач не виставив оцінку.

Для обчислення коефіцієнтів подоби можуть використовуватися такі алгоритми:

1. Евклідова відстань.
2. Манхетенська відстань.
3. Коефіцієнт кореляції Пірсона.

**Евклідова відстань.** Це метрика, що визначає відстань між двома точками в евклідовому просторі, яка обчислюється за теоремою Піфагора (4):

$$k(u_1, u_2) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (|u_{1k} - u_{2k}|)^2}, \quad (4)$$

де  $u_1, u_2$  - користувачі та їх оцінки;  
 $n$  - кількість предметів в матриці.

Алгоритми, що застосовують даний коефіцієнт подоби дають недостатню точність при погано заповненій матриці, але прості в реалізації

**Манхетенська відстань.** Манхетенська відстань або відстань міських кварталів є одним з базових методів обчислення відстані між двома точками, розраховується так:

$$k(u_1, u_2) = |u_{1k} - u_{2k}|, \quad (5)$$

де  $u_1, u_2$  - користувачі та їх оцінки;  
 $n$  - кількість предметів в матриці;

Даний спосіб має недолік в точності при малому заповненні матриці, але також простий в реалізації та має високу швидкість виконання.

**Кореляція Пірсона.** Даний коефіцієнт подоби дає більшу точність, ніж попередні. Показує наскільки добре два набори даних лягають на пряму. Визначається за формулою (6), де  $u_1, u_2$  - користувачі та їх оцінки;  $n$  - кількість предметів в матриці;  $\bar{u}_1$  і  $\bar{u}_2$  - середня оцінка користувачів:

$$k(u_1, u_2) = \frac{\sum_{i=0}^n (u_{1i} - \bar{u}_1)(u_{2i} - \bar{u}_2)}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (u_{1i} - \bar{u}_1)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=0}^n (u_{2i} - \bar{u}_2)^2}}, \quad (6)$$

Значення  $k(u_1, u_2)$  може бути від -1 до 1, де -1 відповідає абсолютній розбіжності користувачів, а 1 - абсолютній подібності.

Кореляція Пірсона є досить популярним алгоритмом в сфері колаборативної фільтрації.

Види колаборативної фільтрації [1, 5]:

1. Фільтрація, заснована на схожості користувачів.

2. Фільтрація, заснована на схожості об'єктів.

**Фільтрація, заснована на схожості користувачів.** Після того, як для рекомендаційної системи зібрані дані та побудована матриця користувачів-об'єктів (рис. 3), для формування рекомендацій певному користувачу необхідно здійснити наступну послідовність дій:

1. Обчислити множину коефіцієнтів подоби даного користувача з усіма іншими користувачами (7):

$$K_t = \{k_{t1}, k_{t2}, \dots, k_{tj}\}, \quad (7)$$

де  $k_{ij}$  - коефіцієнт подоби між  $i$ -тим та  $j$ -тим користувачами.

2. Ранжувати об'єкти, обчисливши зважену суму оцінок користувачів (8), щоб думка користувача з подібними вподобаннями вносила більший вклад у формування рекомендацій:

$$S_q = \{e_{q1} \cdot k_{t1}, e_{q2} \cdot k_{t2}, \dots, e_{qj} \cdot k_{tj}\}. \quad (8)$$

де  $e_{qj}$  - оцінка  $q$ -го об'єкту  $j$ -м користувачем.

3. Розділити кожен зважену суму на суму коефіцієнту подоби всіх користувачів, що ставили оцінки відповідному об'єкту (6), щоб об'єкти, що отримали більше оцінок не одержали перевагу.

$$P_q = e_{q1} / k_{t1}. \quad (9)$$

Вираз (9) дає прогноз оцінки  $i$ -го користувача  $q$ -му об'єкту.

4. Відсортувати множину  $\{P_1, P_2, \dots, P_q\}$ , одержану після третього кроку та рекомендувати користувачу перші  $n$  об'єктів у списку.

Алгоритми, засновані на схожості користувачів інтуїтивно зрозумілі і прості в реалізації. Для великих об'ємів даних (коли багато користувачів та оцінок) ці алгоритми не підходять, так як вимагають багато часу на виконання розглянутих дій.

**Фільтрація, заснована на схожості об'єктів.** Основна ідея даних методів полягає у тому, щоб для кожного об'єкту заздалегідь визначити множину схожих на нього об'єктів. Тоді для формування рекомендацій певному користувачу достатньо буде знайти ті об'єкти, яким він поставив найбільші оці-

ники, та створити зважений список п об'єктів, максимально схожих на них. Результати порівняння об'єктів змінюються не так часто, як результати порівняння користувачів. Тож на першому кроці необхідно дослідити всі наявні дані, а подальші перерахунки можна робити рідко, вибираючи моменти часу, коли навантаження на веб-сайт мінімальне.

Методи фільтрації, заснована на схожості об'єктів працюють швидше, ніж методи засновані на схожості користувачів, так як багато обчислень можна здійснити заздалегідь. Тож їх можна з успіхом використовувати на великих об'ємах даних.

## Висновки

У статті розглянуто методи побудови рекомендаційних систем у мережі Інтернет для формування рекомендацій користувачам веб-ресурсів з метою просування товарів та послуг. Було досліджено основні типи рекомендаційних мереж – з контентною та колаборативною фільтрацією.

Розглянуто основні методи побудови класифікаторів для контентної фільтрації та основні способи обчислення коефіцієнту подібності користувачів/об'єктів у колаборативній фільтрації.

Досліджено способи збору з веб-сайтів інформації про користувачів для вхідних даних у рекомендаційних системах, проведено основні принципи парсингу веб-сторінок.

На основі проведеного дослідження можна зробити висновок, що перспективними є гібридні рекомендаційні системи, з використанням алгоритмів машинного навчання, а також врахуванням контексту, в якому відбувається фіксація вподобань користувача та формування рекомендацій.

## Список літератури

1. Jones M. *Recommender systems, Part 1. Introduction to approaches and algorithms. Learn about the concepts that*

*underlie web recommendation engines / M. Jones – 2013. [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.ibm.com/developerworks/opensource/library/os-recommender1/index.html?s\\_tact=105agx99&s\\_cmp=cp](https://www.ibm.com/developerworks/opensource/library/os-recommender1/index.html?s_tact=105agx99&s_cmp=cp)*

2. Xiaoyuan Su and Taghi M. Khoshgoftar *A Survey of Collaborative Filtering Techniques A Survey of Collaborative Filtering Techniques // Hindawi Publishing Corporation, Advances in Artificial Intelligence archive, USA : журнал. – 2009. — P. 1 - 19.*

3. Меньшикова Н.В. *Обзор рекомендательных систем и возможностей учета контекста при формировании индивидуальных рекомендаций / Н. В. Меньшикова, И.В. Портнов, И.Е. Николаев. // ACADEMY. – 2016. – №6. – с. 20–22.*

4. Пономарев А. В. *Обзор методов учета контекста в системах коллаборативной фильтрации // Труды СПИИРАН, 2013. № 7 (30), С. 169-188.*

5. Сегаран Т. *Программируем коллективный разум. – Пер. с англ. – СПб: Символ-Плюс, 2013. – 368 с.*

6. Охотний С.М. *Збирання даних про користувачів віртуальної соціальної мережі за допомогою веб-кроулера / С.М. Охотний, С.В. Мелешко // Збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології». м. Кропивницький. 20-22 квітня 2017 р. – Кропивницький: ЦНТУ. – 2017. – С. 157-159.*

7. *API Graph [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://developers.facebook.com/docs/graph-api/>*

8. *What is Selenium? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://docs.seleniumhq.org/>*

9. Глибовець М.М., Олецький О.В. *Штучний інтелект: Підручник. – К.: Вид. дім "КМ Академія", 2002. – 366 с.*

10. Болотова Л. С. *Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях / Л. С. Болотова – Москва: «Финансы и Статистика», 2012. – 663 с.*

11. *C5.0: An Informal Tutorial [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.rulequest.com/see5-unix.html>*

Надійшла до редколегії 30.11.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.О. Можасв, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ

Е.В. Мелешко, С.Г. Семенов, В.Д. Хох

*В работе рассмотрены основные виды рекомендательных систем в сети Интернет, основанные на методах контентной и коллаборативной фильтрации. Рассмотрены способы сбора данных о пользователях с веб-ресурсов, необходимые для формирования рекомендаций. Исследованы методы построения классификаторов для контентной фильтрации. Также исследованы способы вычисления коэффициента сходства пользователей или объектов в коллаборативной фильтрации.*

**Ключевые слова:** рекомендательные системы, интеллектуальные системы, контентная фильтрация, коллаборативная фильтрация, метрики сходства, алгоритмы классификации.

## RESEARCH OF METHODS OF BUILDING ADVISORY SYSTEMS ON THE INTERNET

E.V. Meleshko, S.G. Semenov, V.D. Khokh

*The paper considers the main types of recommender systems on the Internet, based on the methods of , content-based and collaborative filtering. The article examines ways to collect user data from web-resources that is needed to formulate recommendations. Methods of constructing classifiers for content-based filtering were investigated. Methods of calculating the similarity coefficient of users or objects in collaborative filtering are also researched.*

**Ключевые слова:** recommender systems, intellectual systems, content-based filtering, collaborative filtering, similarity metrics, classification algorithms.

А.С. Свиридов

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## МЕТОД ПІДБОРУ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

У статті розглянуто існуючі методи розпізнавання зображень і проаналізовано їх недоліки. Детально розглянуто етапи роботи методів, визначені умови, при яких існуючі алгоритми попередньої обробки та сегментації можуть поліпшити процес розпізнавання зображень. На основі досліджень був запропонований метод вибору алгоритмів для таких етапів, як предобробка, сегментація та розпізнавання, що в свою чергу дозволить оптимізувати та прискорити процес розпізнавання зображень.

**Ключові слова:** розпізнавання зображень, предобробка, сегментація, нейронні мережі, алгоритм.

### Вступ

В існуючих засобах розпізнавання зображень використовують різні методи в залежності від того, чи є об'єкт розпізнавання штучним або природним [3-5]. У першому випадку, як правило, працюють з окремими предметами чіткої форми, тому велике число робіт присвячено порівнянню образів шляхом виявлення контурів і меж, або виводу тривимірної форми з використанням геометричних правил. Серед природних об'єктів багато об'єктів неправильної форми зі світлотінню, тому зазвичай за допомогою кластерного аналізу виконується розбиття на однорідні області, а потім по особливостям форм цих областей робиться висновок про об'єкт.

Існує величезна кількість алгоритмів розпізнавання зображень, деякі з них є досить простими, деякі являють собою набір алгоритмів, об'єднаних з системою прийняття рішення на основі нечіткої логіки або застосовуються нейронні мережі [1]. Однак за умови, що алгоритми можуть бути як простими, так і складними, що навчаються самі і не навчаються взагалі, вони всі працюють за допомогою алгоритму, представленого на рис. 1 [2, 4, 6, 7].

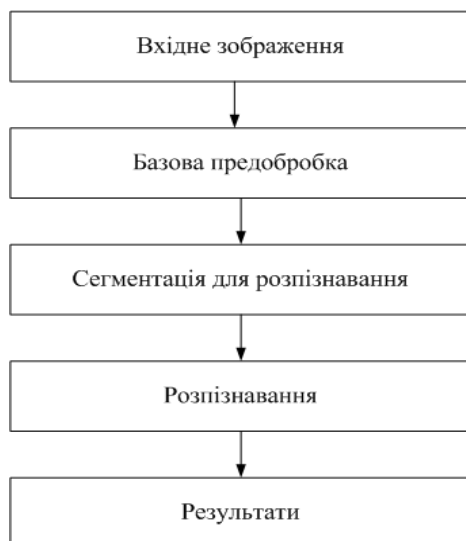


Рис. 1. Класична схема етапів розпізнавання зображень

**Аналіз літератури.** У процесі розпізнавання зображень не існує оптимального методу, який би виконував всі вимоги до завдання розпізнавання зображення, саме цим обумовлений той факт, що існуючі методи можуть частково або повністю дублювати один одного, бути модифікованими, уніфікованими, або бути точною копією з заміненними параметрами. Всі ці дії проводяться для того щоб мати можливість скоригувати існуючий метод для роботи з новим видом задач.

Виходячи з цього досить складно уявити згруповані існуючі методи, так як одна і та ж група методів може задовольняти одним вимогам і не виконувати інші. Деякі джерела пропонують існуючі методи представити у вигляді трьох видів: метод порівняння зі зразком, статистичні методи, нейронні мережі [1, 7].

До групи методів порівняння зі зразком входять такі алгоритми, як класифікація за найближчим середнім, класифікація по відстані до найближчого сусіда, а також структурні методи розпізнавання. Статистичний метод визначає приналежність об'єкта до конкретного класу на основі ймовірності. У деяких випадках це зводиться до визначення апостеріорної ймовірності приналежності об'єкта до певного класу, за умови, що ознаки цього об'єкта взяли відповідні значення. Нейронні мережі, що застосовуються для розпізнавання образів, є математичними моделями паралельних обчислень, що містить взаємодіючі між собою прості процесорні елементи – штучні нейрони. Перевагою нейронних мереж перед традиційними алгоритмами є можливість їх навчання [1, 4].

В результаті аналізу існуючих методів розпізнавання зображень можна зробити висновок про те, що більша частина існуючих методів має структуру, яка відразу включає в себе деякі базові алгоритми предобробки, які найчастіше представлені у вигляді повороту, коригування яскравості і контрастності зображень, при цьому лише деякі з існуючих методів використовують більш глибокі алгоритми попередньої обробки, такі як – розкладання по спектру, аналіз кривих, але навіть цей набір підготовчих

етапів є далеко не повним, однак їх використання є необхідністю для подальшого розпізнавання.

Сегментація, яка є частиною процесу розпізнавання не може гарантувати отримання однаково успішних результатів при різних наборах зображень. Для різних видів зображень необхідно використання різних алгоритмів сегментації, що дає можливість отримати оптимальний результат.

Алгоритми розпізнавання можна розділити на дві частини – ті, що включають в себе використання нейронних мереж та ті, що працюють на алгоритмах без використання нейронних мереж. Недоліками нейронних мереж є складність навчання, так як для кожного нового набору даних доводиться аналізувати інформацію та навчати систему знов, що є досить складним процесом. Для алгоритмів, які не використовують нейронні мережі такі етапи, як предобробка та сегментація є обов'язковими для того, щоб результати розпізнавання були коректні, а, відповідно, не вірно підібрані алгоритми сегментації можуть привести до того, що результати розпізнавання будуть не коректні.

**Мета дослідження** – проаналізувати повний процес розпізнавання зображень і реалізувати метод, який дозволить підбирати необхідні алгоритми предобробки та сегментації, і на підставі цього, вибирати відповідний алгоритм розпізнавання.

## Результати досліджень

В існуючих моделях для кожного завдання розпізнавання пропонуються готові методи, які можуть не задовільняти за тими чи іншими критеріями; наприклад, методи з використанням нейронних мереж, можуть навчатися тільки на конкретно заданій виборці зображень, іноді під кожну нову задачу методи розпізнавання доводиться коригувати, або міняти повністю, що ускладнює розпізнавання та може при-

звести до того, що отриманні результати будуть незадовільними. Також, предобробка та сегментація сильно спрощені у класичних методах розпізнавання, або не здійснюються взагалі, що не є оптимальним для вирішення завдань розпізнавання [6, 7].

Запропонований метод дозволяє розглядати задачі розпізнавання більш глобально та для зображень вибирати оптимальні набори предобробки, сегментації і самого процесу розпізнавання, запропонований метод представлений на рисунку 2.



Рис. 2. Етапи методу підбору алгоритмів для розпізнавання зображень

Розглянемо більш детально метод підбору алгоритмів для розпізнавання зображень, він включає в себе шість основних етапів представлених в табл. 1.

Таблиця 1

Основні етапи методу підбору алгоритмів

Етап 1. Введення зображення	
Етап 2. Здобування корисної інформації з зображення	1. Розкладання зображення. Отримання корисної інформації з зображення
Етап 3. Первинна обробка зображення	1. Вибір $n$ алгоритмів предобробки для обраного зображення, залежно від його характеристик. 2. Застосування цих алгоритмів до зображення 3. Отримання «готового» предобробленого зображення (зведення всіх алгоритмів до одного зображення.)
Етап 4. Сегментація зображення	1. Вибір алгоритмів сегментації, виходячи з двох параметрів: а) алгоритмів предобробки; б) з характеристик зображення. Обираємо $n$ алгоритмів сегментації 2. Отримання $n$ зображень з виділеними сегментами 3. Порівняння результатів сегментації (шляхом виявлення спільних, та різних виявлених деталей), отримання усередненого зображення з виділеною сегментацією
Етап 5. Розпізнавання зображення	1. На основі застосованих алгоритмів сегментації та характеристик зображення обирається $n$ алгоритмів розпізнавання 2. Обрані алгоритми застосовуються до зображення, отримується $n$ результатів розпізнавання
Етап 6. Аналіз результатів	1. Оцінка отриманих значень 2. Перевірка отриманих результатів, чи не нижче вони введеного дозволеного критерія. 3. Порівняння отриманих значень, вибір найбільш достовірного

*Етап 1. Введення зображень.* Введення зображень є класичним етапом, при розпізнаванні зображень детально аналізувати його не потрібно.

Другий етап отримання корисної інформації з зображення розглянемо більш детально.

*Етап 2. Отримання корисної інформації.* Вхідне зображення аналізується на базові параметри, на етапі аналізу зображення до блоку «інформація» записується вся інформація яка була отримана: роздільна здатність, формат, колір і ін. У подальшому ця інформація використовується для прийняття рішень які алгоритми потрібно використовувати для цього зображення.

*Етап 3. Первинна обробка зображення.* На основі отриманої інформації з зображення пропонується найбільш відповідні для цього зображення п алгоритмів. Всі обрані алгоритми первинної обробки застосовуються на вхідне зображення, результатом чого є готове – предоброблене зображення. Інформація про застосовані алгоритми предобробки також додається до інформації про зображення для використання на наступних етапах.

*Етап 4. Сегментація зображення.* На етапі сегментації зображення відбувається аналіз інформації з попередніх етапів і на підставі цих даних відбувається вибір відповідних способів сегментації зображення. Результатом цього етапу є набір зображень (у кількості  $n$  зображень), для кожного з яких застосовано свій алгоритм виділення корисних сегментів (сегментації), так само отримується  $n$  зображень з різними засобами сегментації та на кожному з них, виділені необхідні частини зображення. Наступним кроком буде застосування методу перекриття, при якому всі результати сегментації зображення накладаються одне на інше й алгоритмом порівняння виділяються спільні результати для різних алгоритмів сегментації. Таким чином результатом цього етапу буде оброблене зображення з результатами його сегментації та оновленою інформацією про зображення.

*Етап 5. Розпізнавання зображення.* Результати отримані на етапі сегментації й інформація з зображення використовується для вибору  $n$  алгоритмів розпізнавань зображень, в процесі чого для сегментованого зображення застосовуються алгоритми розпізнавання та на виході отримується набір даних у вигляді результатів розпізнавань. Усі результати розпізнавання використовуються в аналізі.

*Етап 6. Аналіз отриманих результатів.* На цьому етапі здійснюється перевірка отриманих результатів з введеним критерієм достовірності, тобто чи результати вище вибраного критерію для зображень такого типу чи ні, якщо всі результати вище, то можна їх використовувати для подальшого виводу, якщо деякі з них нижче, то залишаються тільки ті, які вважаються більш достовірними (вище введеного критерію). Якщо всі результати не задовольняють критерію процес прийняття рішень переходить знов до етапу предобробки, але ті алгоритми,

що використовувались замінюються наступними, так само відбувається на інших етапах. Наступним кроком є порівняння результатів і на його підставі найбільш ймовірні результати залишаються та виводяться, як результат розпізнавання.

Всі етапи алгоритму представлені на блок-схемі (рис. 3). Використовуючи такий метод можна отримати покращення результатів розпізнавання алгоритмів, а також скоротити час на навчання нейронних мереж і прискорити процес розпізнавання на алгоритмах, основою яких не є нейронні мережі. Зображення, що будуть надходити на вхід нейронної мережі та алгоритми розпізнавання, будуть вже стандартизовані і мати додаткову корисну інформацію, яку алгоритми зможуть використовувати для прийняття рішень.

## Висновки

У статті був запропонований метод вибору алгоритмів для розпізнавання зображень, необхідність такого методу визначається тим, що існуючі методи спрямовані на те, щоб вміти розпізнавати зображення одного типу під конкретні завдання. Алгоритми предобробки та сегментації є переважно допоміжними, при цьому основну роль часто виконує нейронна мережа, яка аналізує вхідне зображення і вчиться розпізнавати його краще на нових підготовлених наборах, але при такому підході відбувається значна витрата часу на навчання системи. Також при розгляді методів, які не ґрунтуються на нейронних мережах було виявлено, що такі системи менш популярні для глобального процесу розпізнавання, так як їх якість часто залежить від процесу предобробки і сегментації зображень, а автоматизація такого процесу є досить складною задачею.

Запропонований метод ґрунтується на детальному виборі алгоритмів для таких етапів, як предобробка, сегментація і розпізнавання. Інформація, отримана на початкових етапах і оновлена на всіх етапах до поточного, впливає на вибір алгоритму для наступних етапів, що дозволяє більш структуровано підбирати алгоритми на наступних етапах.

Застосування запропонованого методу дозволяє покращити швидкість і якість розпізнавання зображень у випадку з нейронними мережами, шляхом введення додаткового параметра в нейронну систему у вигляді інформації про зображення, його предобробку та сегментацію, а також для алгоритмів які не ґрунтуються на нейронних мережах покращити якість і швидкість розпізнавання зображень, на основі використання більш коректного вибору алгоритмів предобробки та сегментації.

## Список літератури

1. C. S. A. T. D. Erhan, «Neural Information Processing Systems,» в *Deep Neural Networks for Object Detection*, 2013.
2. Linda G. Shapiro and George C. Stockman (2001): «Computer Vision», pp 279–325, New Jersey, Prentice-Hall.



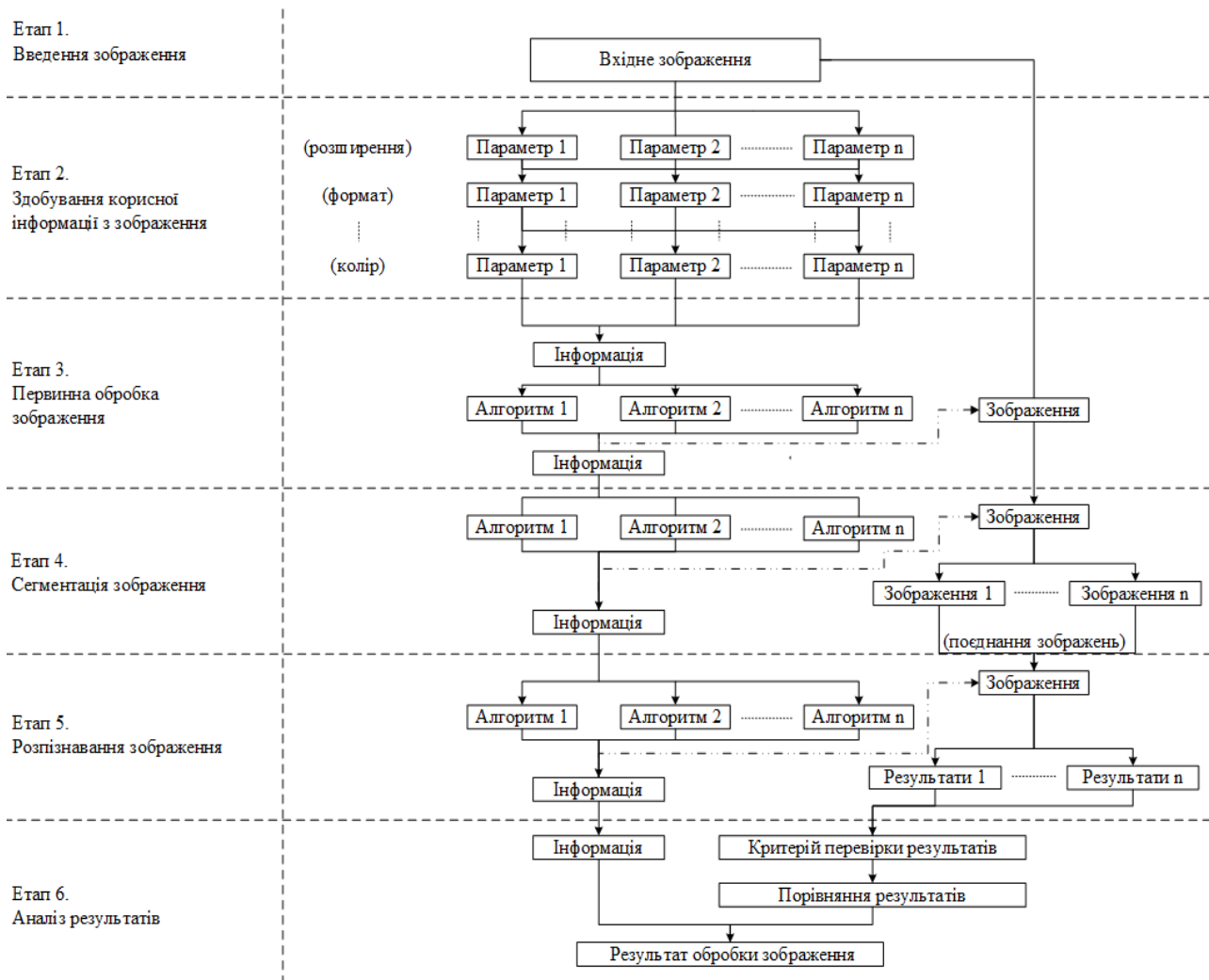


Рис. 3. Блок-схема алгоритму

3. Khan, H. Abdullah u M. Shamian Bin Zainal, «Efficient eyes and mouth detection algorithm using combination of viola jones and skin color pixel detection» *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, № Vol. 3 № 4, 2013.

4. Дж. Ту, Р. Гонсалес, *Математические принципы распознавания образов*, Москва: «Мир» Москва, 1974.

5. Н. Новикова, *Структурное распознавание образов*, Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2006.

6. Форсайт Д., Понс Ж. *Компьютерное зрение. Современный подход*. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 928с

7. Шапиро Л., Стокман Дж. *Компьютерное зрение*. Пер. с англ. М.: Лаборатория знаний, 2006. 752с.

Надійшла до редколегії 28.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К.С. Козелкова, Державний університет телекомунікацій, Київ.

## МЕТОД ПОДБОРА АЛГОРИТМОВ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.С. Свиридов

В статье рассмотрены существующие методы распознавания изображений и проанализированы их недостатки. Детально рассмотрены этапы работы методов, определены условия, при которых существующие алгоритмы предобработки и сегментации могут улучшить процесс распознавания изображений. На основе исследований был предложен метод выбора алгоритмов для таких этапов, как предобработка, сегментация и распознавание, что в свою очередь позволит оптимизировать и ускорить процесс распознавания изображений.

**Ключевые слова:** распознавание изображений, предобработка, сегментация, нейронные сети, алгоритм.

## ALGORITHM SELECTION METHOD FOR IMAGE RECOGNITION

A.S. Svyrydov

The article considers existing methods of image recognition and analyzes their shortcomings. The work stages of the methods are examined in detail, conditions are defined under which existing preprocessing and segmentation algorithms can improve the process of image recognition. Based on the research, a method of selecting algorithms for such stages as pre-blocking, segmentation and recognition was proposed, which in turn would allow optimizing and speeding up the process of image recognition.

**Keywords:** image recognition, preprocessing, segmentation, neural networks, algorithms.





обчислення. Операції декодування інформації, можливо за допомогою логічних визначників [6]. Логічний визначник другого порядку є вираз:

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22} \oplus a_{12}a_{21}, \quad (3)$$

де  $a_{ij} \in K$ ,  $K = \langle \{0,1\}, \oplus, \otimes \rangle$  двійкове поле над яким розглядаються, так звані, визначники і матриці, які називаються логічними [6].

При проведенні досліджень, під складністю логічного визначника будемо розуміти кількість логічних операцій множення та додавання за модулем два, які необхідно виконати для його розрахунку. Знайдемо складність обчислення визначника другого порядку позначивши його через  $C_{кл2}$ , визначивши кількість логічних операцій при обчисленні виразу (3), яка включає дві операції логічного множення  $\otimes$  та одну операцію логічного додавання  $\oplus$  за модулем 2 отримаємо  $C_{кл2} = 3$ . Складність обчислення визначника третього порядку  $C_{кл3}$  визначимо кількістю логічних операцій при обчисленні виразу [6].

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix} = a_{11}a_{22}a_{33} \oplus a_{13}a_{21}a_{32} \oplus \oplus a_{12}a_{23}a_{31} \oplus a_{13}a_{22}a_{31} \oplus a_{12}a_{21}a_{33} \oplus a_{11}a_{23}a_{32}. \quad (4)$$

Отже  $C_{кл3} = 17$ , яка включає 12 операцій логічного множення та 5 операції логічного додавання за модулем 2. Складність обчислення логічного визначника четвертого порядку (5)  $C_{кл4}$  проаналізуємо на основі обчислення логічного визначника третього порядку, який дорівнює логічній сумі добутків елементів якого-небудь рядка (стовпця) [6] на їхні логічні доповнення. Логічним доповненням  $L_{ij}$  елемента  $a_{ij}$  логічного визначника називається логічний визначник, який утворюється з даного визначника в результаті викреслення  $i$ -го рядка та  $j$ -го стовпця [6].

Нехай задано логічний визначник 4 порядку

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} = \dots \quad (5)$$

$$= a_{11}L_{11} \oplus a_{12}L_{12} \oplus a_{13}L_{13} \oplus a_{14}L_{14}.$$

Тоді

$$\Delta_4 = a_{11} \begin{vmatrix} a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} \oplus a_{12} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{43} & a_{44} \end{vmatrix} \oplus \oplus a_{13} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{44} \end{vmatrix} \oplus a_{14} \begin{vmatrix} a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} \end{vmatrix}. \quad (6)$$

При виконанні відповідних логічних обчислень виразу (6) складність обчислення логічного визначника четвертого порядку  $C_{кл4} = 95$ . Аналогічно розрахункам складності обчислення логічного визначника четвертого порядку, проведемо розрахунок складності логічного визначника п'ятого порядку  $C_{кл5} = 599$ . На основі розрахунку складності логічного визначника п'ятого порядку знайдемо  $C_{кл6} = 863$ . При проведенні даних розрахунків була встановлена закономірність обчислення складності логічних визначників:

$$C_{клn} = [(17 + (n - 3) \times 6) \times 4 + 3]n + (n - 1), \quad (7)$$

де  $n > 4$  – порядок логічного визначника.

Результати розрахунку складності логічного визначника в залежності від порядку наведені в табл. 1 ( $n$  – порядок логічного визначника,  $C_{клn}$  – Складність обчислення логічного визначника).

Таблиця 1

Результати розрахунку складності логічного визначника

n	n=2	n=3	n=4	n=5	n=6	n=7	n=8
$C_{клn}$	3	17	95	599	863	1175	1538

Проведемо порівняльну оцінку зменшення кількості операцій для знаходження складності обчислень логічних визначників при застосуванні розробленої моделі [5] оберненого криптографічного перетворення зі складності обчислень логічних визначників при знаходженні  $A^{-1}$ .

$$\text{Нехай } G^k_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} a_{11}F_{1(2 \times 2)}^k \oplus a_{12}F_{2(2 \times 2)}^k \\ a_{21}F_{1(2 \times 2)}^k \oplus a_{22}F_{2(2 \times 2)}^k \end{bmatrix}, \text{ тоді}$$

відповідно до моделі [5]

$$G^d_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} b_{11}F_{1(2 \times 2)}^d \oplus b_{12}F_{1(2 \times 2)}^d \\ b_{21}F_{2(2 \times 2)}^d \oplus b_{22}F_{2(2 \times 2)}^d \end{bmatrix} \rightarrow A^{-1}_{(4 \times 4)}. \quad (8)$$

Для знаходження складності обчислення логічного визначника виразу (8) запропонованої моделі [5] необхідно знайти складність розрахунку матриць:  $C_{кл}G^d_{(2 \times 2)}$ ,  $C_{кл}F_{1(2 \times 2)}^d$  та  $C_{кл}F_{2(2 \times 2)}^d$ . Тому складність розрахунку запропонованої моделі [5] для першого випадку позначимо

$$C_{\Sigma M}^{скл1}_{(2 \times 2)} = C_{кл}G^d_{(2 \times 2)} \oplus C_{кл}F_{1(2 \times 2)}^d \oplus C_{кл}F_{2(2 \times 2)}^d.$$

Згідно даних табл. 1 для даного випадку  $C_{\Sigma M}^{скл1}_{(2 \times 2)} = 9$ . А складність  $A^{-1}_{скл(4 \times 4)} = C_{кл4} = 95$ .

Отже  $C_{\Sigma M}^{скл1}_{(2 \times 2)} = 9 < A^{-1}_{скл(4 \times 4)} = 95$ . Для даного випадку проведемо оцінку швидкості реалізації групового матричного криптографічного перетворення на основі оцінки відносної складності обчислення логічних визначників:  $C_{\Sigma M}^{скл1}_{(2 \times 2)}$ ,  $A^{-1}_{скл(4 \times 4)}$ . Відносна складність обчислення логічних визначників

першого випадку  $v_{\text{скл1}}$  позначимо через відношення обчислення складності логічних визначників матриці  $A^{-1}_{\text{скл}(4 \times 4)}$  до складності розрахунку логічних визначників запропонованої моделі [5] для першого випадку  $C_{\sum M(2 \times 2)}^{\text{скл1}}$ .

$$v_{\text{скл1}} = A^{-1}_{\text{скл}(4 \times 4)} / C_{\sum M(2 \times 2)}^{\text{скл1}}. \quad (9)$$

Відносну швидкість можна розглянути як обернене значення відносної складності

$$v_{\text{шв}} = 1/v_{\text{скл1}} = C_{\sum M(2 \times 2)}^{\text{скл1}} / A^{-1}_{\text{скл}(4 \times 4)}. \quad (10)$$

Підставивши в (9) результати розрахунків, отримаємо відносну складність обчислення логічних визначників першого випадку  $v_{\text{скл1}} = 10,5$  разів. Аналогічно проведемо розрахунок для моделі [5]

$$G^k_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} a_{11}F_{1(3 \times 3)}^k \oplus a_{12}F_{2(3 \times 3)}^k \\ a_{21}F_{1(3 \times 3)}^k \oplus a_{22}F_{2(3 \times 3)}^k \end{bmatrix}, \text{ тоді}$$

$$G^d_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} b_{11}F_{1(3 \times 3)}^d \oplus b_{12}F_{1(3 \times 3)}^d \\ b_{21}F_{2(3 \times 3)}^d \oplus b_{22}F_{2(3 \times 3)}^d \end{bmatrix} \rightarrow A^{-1}_{(6 \times 6)}. \quad (11)$$

Для знаходження складності обчислення логічного визначника виразу (11) необхідно знайти складність розрахунку матриць:  $C_{\text{кл}}G^d_{(2 \times 2)}$ ,  $C_{\text{кл}}F^d_{1(3 \times 3)}$ ,  $C_{\text{кл}}F^d_{2(3 \times 3)}$ . Складність розрахунку запропонованої моделі [5] для другого випадку позначимо

$$C_{\sum M(2 \times 2)}^{\text{скл2}} = C_{\text{кл}}G^d_{(2 \times 2)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{1(3 \times 3)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{2(3 \times 3)}.$$

Згідно даних табл. 1  $C_{\sum M(2 \times 2)}^{\text{скл2}} = 37$  а складність обчислення логічного визначника матриці  $A^{-1}_{\text{скл}(6 \times 6)} = C_{\text{кл6}} = 863$ . Для даного випадку  $C_{\sum M(3 \times 3)}^{\text{скл2}} = 37 < A^{-1}_{\text{скл}(6 \times 6)} = 863$ . Відносна складність  $v_{\text{скл2}} = 23,3$  разів. Проведемо розрахунок при

$$G^k_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} a_{11}F_{1(4 \times 4)}^k \oplus a_{12}F_{2(4 \times 4)}^k \\ a_{21}F_{1(4 \times 4)}^k \oplus a_{22}F_{2(4 \times 4)}^k \end{bmatrix}, \text{ тоді}$$

$$G^d_{(2 \times 2)} = \begin{bmatrix} b_{11}F_{1(4 \times 4)}^d \oplus b_{12}F_{1(4 \times 4)}^d \\ b_{21}F_{2(4 \times 4)}^d \oplus b_{22}F_{2(4 \times 4)}^d \end{bmatrix} \rightarrow A^{-1}_{(8 \times 8)}. \quad (12)$$

Складність розрахунку 3-го випадку (12)

$$C_{\sum M(2 \times 2)}^{\text{скл3}} = C_{\text{кл}}G^d_{(2 \times 2)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{1(4 \times 4)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{2(4 \times 4)}.$$

Згідно даних табл. 1  $C_{\sum M(2 \times 2)}^{\text{скл3}} = 193$  а складність обчислення логічного визначника матриці  $A^{-1}_{\text{скл}(8 \times 8)} = C_{\text{кл8}} = 1538$ . Для даного випадку  $C_{\sum M(2 \times 2)}^{\text{скл3}} = 193 < A^{-1}_{\text{скл}(8 \times 8)} = 1538$ . Відносна складність  $v_{\text{скл3}} = 7,97$  разів. Для знаходження складності обчислення логічного визначника виразу (13)

запропонованої моделі (1,2) для четвертого випадку необхідно знайти складність розрахунку матриць:

$$C_{\text{кл}}G^d_{(3 \times 3)}, C_{\text{кл}}F^d_{1(2 \times 2)}, C_{\text{кл}}F^d_{2(2 \times 2)} \text{ та } C_{\text{кл}}F^d_{3(2 \times 2)}.$$

Нехай

$$G^k_{(3 \times 3)} = \begin{bmatrix} a_{11}F_{1(2 \times 2)}^k \oplus a_{12}F_{2(2 \times 2)}^k \oplus a_{13}F_{3(2 \times 2)}^k \\ a_{21}F_{1(2 \times 2)}^k \oplus a_{22}F_{2(2 \times 2)}^k \oplus a_{23}F_{3(2 \times 2)}^k \\ a_{31}F_{1(2 \times 2)}^k \oplus a_{32}F_{2(2 \times 2)}^k \oplus a_{33}F_{3(2 \times 2)}^k \end{bmatrix}, \text{ тоді}$$

відповідно до моделі (1), (2)

$$G^d_{(3 \times 3)} = \begin{bmatrix} b_{11}F_{1(2 \times 2)}^d \oplus b_{12}F_{1(2 \times 2)}^d \oplus b_{13}F_{1(2 \times 2)}^d \\ b_{21}F_{2(2 \times 2)}^d \oplus b_{22}F_{2(2 \times 2)}^d \oplus b_{23}F_{2(2 \times 2)}^d \\ b_{31}F_{3(2 \times 2)}^d \oplus b_{32}F_{3(2 \times 2)}^d \oplus b_{33}F_{3(2 \times 2)}^d \end{bmatrix} \rightarrow A^{-1}_{(6 \times 6)}. \quad (13)$$

Позначимо  $C_{\sum M(3 \times 3)}^{\text{скл4}} = C_{\text{кл}}G^d_{(3 \times 3)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{1(2 \times 2)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{2(2 \times 2)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{3(2 \times 2)}$ . Для даного випадку  $C_{\sum M(3 \times 3)}^{\text{скл4}} = 26$ . Складність обчислення логічного визначника матриці  $A^{-1}_{\text{скл}(6 \times 6)} = C_{\text{кл6}} = 863$ . Отже  $C_{\sum M(3 \times 3)}^{\text{скл4}} = 26 < A^{-1}_{\text{скл}(6 \times 6)} = 863$ .

Відносна складність обчислення логічних визначників четвертого випадку проводиться згідно виразу (9) на основі даних розрахунків даного випадку  $v_{\text{скл4}} = 33,2$  разів. Аналогічно проведено наступні розрахунки складності матриць при наступних випадках 5-6 за умови:  $C_{\text{кл}}G^d_{(3 \times 3)}$ ,  $C_{\text{кл}}F^d_{1(3 \times 3)}$ ,  $C_{\text{кл}}F^d_{2(3 \times 3)}$  та  $C_{\text{кл}}F^d_{3(3 \times 3)}$ . Позначимо  $C_{\sum M(3 \times 3)}^{\text{скл5}} = C_{\text{кл}}G^d_{(3 \times 3)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{1(3 \times 3)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{2(3 \times 3)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{3(3 \times 3)}$ .

Для даного випадку  $C_{\sum M(3 \times 3)}^{\text{скл5}} = 68$ . Складність обчислення логічного визначника матриці знайдемо за (7)  $A^{-1}_{\text{скл}(9 \times 9)} = C_{\text{кл9}} = 1079$ . Отже  $C_{\sum M(3 \times 3)}^{\text{скл5}} = 68 < A^{-1}_{\text{скл}(9 \times 9)} = 1079$ . Відносна складність  $v_{\text{скл5}} = 15,9$  разів. Позначимо  $C_{\sum M(3 \times 3)}^{\text{скл6}} = C_{\text{кл}}G^d_{(3 \times 3)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{1(4 \times 4)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{2(4 \times 4)} \oplus C_{\text{кл}}F^d_{3(4 \times 4)}$ . Для даного випадку  $C_{\sum M(3 \times 3)}^{\text{скл6}} = 302$ . Складність обчислення логічного визначника матриці знайдемо за (7)  $A^{-1}_{\text{скл}(12 \times 12)} = C_{\text{кл12}} = 3455$ . Отже  $C_{\sum M(3 \times 3)}^{\text{скл6}} = 302 < A^{-1}_{\text{скл}(12 \times 12)} = 3455$ . Відносна складність  $v_{\text{скл6}} = 11,4$  разів. Для знаходження складності обчислення логічного визначника (14) знайдемо складність розрахунку матриць:  $C_{\text{кл}}G^d_{(4 \times 4)}$ ,  $C_{\text{кл}}F^d_{1(2 \times 2)}$ ,  $C_{\text{кл}}F^d_{2(2 \times 2)}$ ,  $C_{\text{кл}}F^d_{3(2 \times 2)}$ ,  $C_{\text{кл}}F^d_{4(2 \times 2)}$ .

Нехай

$$G^k_{(4 \times 4)} = \begin{bmatrix} a_{11}F_{1(2 \times 2)}^k \oplus a_{12}F_{2(2 \times 2)}^k \oplus a_{13}F_{3(2 \times 2)}^k \oplus a_{14}F_{4(2 \times 2)}^k \\ a_{21}F_{1(2 \times 2)}^k \oplus a_{22}F_{2(2 \times 2)}^k \oplus a_{23}F_{3(2 \times 2)}^k \oplus a_{24}F_{4(2 \times 2)}^k \\ a_{31}F_{1(2 \times 2)}^k \oplus a_{32}F_{2(2 \times 2)}^k \oplus a_{33}F_{3(2 \times 2)}^k \oplus a_{34}F_{4(2 \times 2)}^k \\ a_{41}F_{1(2 \times 2)}^k \oplus a_{42}F_{2(2 \times 2)}^k \oplus a_{43}F_{3(2 \times 2)}^k \oplus a_{44}F_{4(2 \times 2)}^k \end{bmatrix},$$

Тоді відповідно до моделі (1), (2)

$$G^d_{(4 \times 4)} = \begin{bmatrix} b_{11}F_{1(2 \times 2)}^d \oplus b_{12}F_{2(2 \times 2)}^d \oplus b_{13}F_{3(2 \times 2)}^d \oplus b_{14}F_{4(2 \times 2)}^d \\ b_{21}F_{1(2 \times 2)}^d \oplus b_{22}F_{2(2 \times 2)}^d \oplus b_{23}F_{3(2 \times 2)}^d \oplus b_{24}F_{4(2 \times 2)}^d \\ b_{31}F_{3(2 \times 2)}^d \oplus b_{32}F_{3(2 \times 2)}^d \oplus b_{33}F_{3(2 \times 2)}^d \oplus b_{34}F_{3(2 \times 2)}^d \\ b_{41}F_{4(2 \times 2)}^d \oplus b_{42}F_{4(2 \times 2)}^d \oplus b_{43}F_{4(2 \times 2)}^d \oplus b_{44}F_{4(2 \times 2)}^d \end{bmatrix} \rightarrow (14)$$

$$\rightarrow A_{(8 \times 8)}^{-1}.$$

Складність розрахунку для (14) позначимо  $C_{\sum M(2 \times 2)}^{скл7} = C_{кл}G^d_{(4 \times 4)} \oplus C_{кл}F_{1(2 \times 2)}^d \oplus C_{кл}F_{2(2 \times 2)}^d \oplus C_{кл}F_{3(2 \times 2)}^d \oplus C_{кл}F_{4(2 \times 2)}^d$ . Згідно даних табл. 1  $C_{\sum M(4 \times 4)}^{скл7} = 107$  а складність обчислення логічного визначника матриці  $A_{скл(8 \times 8)}^{-1} = C_{кл8} = 1538$ . Для даного випадку  $C_{\sum M(4 \times 4)}^{скл7} = 107 < A_{скл(8 \times 8)}^{-1} = 1538$ .

Відносна складність  $v_{скл7} = 14,37$ раза.

Аналогічно проведено наступні розрахунки складності матриць при випадках 8-9 за умови:  $C_{кл}G^d_{(4 \times 4)}$ ,  $C_{кл}F_{1(3 \times 3)}^d$ ,  $C_{кл}F_{2(3 \times 3)}^d$ ,  $C_{кл}F_{3(3 \times 3)}^d$  та  $C_{кл}F_{4(3 \times 3)}^d$ . Позначимо  $C_{\sum M(4 \times 4)}^{скл8} = C_{кл}G^d_{(4 \times 4)} \oplus C_{кл}F_{1(3 \times 3)}^d \oplus C_{кл}F_{2(3 \times 3)}^d \oplus C_{кл}F_{3(3 \times 3)}^d \oplus C_{кл}F_{4(3 \times 3)}^d$ .

Для даного випадку  $C_{\sum M(4 \times 4)}^{скл8} = 163$ . Складність обчислення логічного визначника матриці знайдемо за (7)  $A_{скл(12 \times 12)}^{-1} = C_{кл12} = 3455$ . Отже  $C_{\sum M(4 \times 4)}^{скл8} = 163 < A_{скл(12 \times 12)}^{-1} = 3455$ . Відносна складність  $v_{скл8} = 21,2$ раза.

Позначимо  $C_{\sum M(4 \times 4)}^{скл9} = C_{кл}G^d_{(4 \times 4)} \oplus C_{кл}F_{1(4 \times 4)}^d \oplus C_{кл}F_{2(4 \times 4)}^d \oplus C_{кл}F_{3(4 \times 4)}^d \oplus C_{кл}F_{4(4 \times 4)}^d$ . Для даного випадку  $C_{\sum M(4 \times 4)}^{скл9} = 475$ . Складність обчислення логічного визначника матриці знайдемо за (7)  $A_{скл(16 \times 16)}^{-1} = C_{кл16} = 6143$ . Отже  $C_{\sum M(4 \times 4)}^{скл9} = 475 < A_{скл(16 \times 16)}^{-1} = 6143$ . Відносна складність  $v_{скл9} = 12,9$ раза.

Дані розрахунків занесено в табл. 2 та відображено графічно на гістограмі рис. 1.

Аналіз представлених даних на рис. 1 та даних табл. 2 свідчить про те, що зменшення складності обчислень логічних визначників при запропонованих моделях дає вигоду від 8 до 33 разів.

### Висновки

Для спрощеної оцінки відносної складності запропоновано використати логічні визначники. Розрахунок складності обчислень логічних визначників забезпечить коректність розрахунків та достовірність результатів за рахунок використання операцій, які мають однаковий час виконання та складність технічної реалізації. На основі узагальнення дослідження було встановлено залежність для визначення відносної складності та збільшення відносної швидкості в залежності від розрядності групового та не групового матричного криптографічного перетворення.



Рис. 1. Гістограма складності обчислень логічних визначників розробленої моделі (темний стовпчик) в порівнянні зі складністю обчислень логічних визначників матриць  $A^{-1}$  відповідних розмірностей

Результати складності обчислень логічних визначників при застосуванні розроблених моделей та відповідних значень логічних визначників при знаходженні  $A^{-1}$

№ випадку	Розмірність $G^d$	Розмірність $F^d$	Розмірність матриці $A^{-1}$	Складність запропонованої моделі $C_{\Sigma M}^{скл}$	Складність матриці $A^{-1}$	Відносна складність $v_{скл}$ , раз
1	2×2	2×2	4×4	9	95	10,5
2	2×2	3×3	6×6	37	863	23,3
3	2×2	4×4	8×8	193	1538	7,97
4	3×3	2×2	6×6	26	863	33,2
5	3×3	3×3	9×9	68	1079	15,9
6	3×3	4×4	12×12	302	3455	11,4
7	4×4	2×2	8×8	107	1538	14,4
8	4×4	3×3	12×12	163	3455	21,2
9	4×4	4×4	16×16	473	6143	12,9

Результати досліджень підтверджують ефективність практичного застосування групових моделей матриць криптоперетворення за рахунок підвищення відносної швидкості та зменшення відносної складності при їх застосуванні в крипто алгоритмах та крипто примітивах.

### Список літератури

1. Бабенко В.Г., Мельник Р.П., Гончар С.В. Оцінка ефективності використання операцій криптографічного перетворення. Вісник інженерної академії України. – Вип. 2. - Київ, 2014. - С. 39–41.
2. Рудницький В.М., Сисоєнко С.В., Мельник О.Г., Пустовіт М.О. Дослідження методу підвищення стійкості комп'ютерних криптографічних алгоритмів. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки : наук.-техн. журн. Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси: ЧДТУ, 2017 – Вип. 3 – С.- 5-10.
3. Сисоєнко С.В., Мельник О.Г. Використання операцій та алгоритмів криптоперетворення двох блоків змінних в криптографії. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (за підтримки представництва Торговельно-Промислової Палати України в Республіці Ірак та Iraqi-Ukrainian Business Council) «Інноваційні

тенденції сьогодення в сфері природничих, гуманітарних та точних наук» 17 жовтня 2017 рік том 2 м. Івано-Франківськ 2017. - С. 47–49.

4. Сисоєнко С.В., Мельник О.Г. Дослідження операцій оберненого групового матричного криптографічного перетворення інформації. Міжнародна науково-практична конференція «Наука у контексті сучасних глобалізаційних процесів» 19 листопада 2017 рік том 10 м. Полтава 2017. - С. 44–46.
5. Сисоєнко С.В., Мельник О.Г., Пустовіт М.О. Синтез операцій оберненого групового матричного криптографічного перетворення інформації. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки : наук.-техн. журн. Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси: ЧДТУ, 2017 – Вип. 4 – С.- 118-125.
6. Бабенко В.Г., Стабецька Т.А. Операції матричного криптографічного декодування на основі логічних визначників. Тези доповідей четвертої міжн. НПК «Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації» 23-25 квітня 2013 рік м. Вінниця, - С. 135-137.

Надійшла до редколегії 27.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.

### ОЦЕНКА СКОРОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ГРУППОВОГО МАТРИЧНОГО КРИПТОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

С.В. Сысоенко

В статье рассмотрены и теоретически обоснованы результаты исследований определения относительной сложности и увеличение относительной скорости группового матричного криптографического преобразования в зависимости от разрядности матриц. Установлена закономерность вычисления сложности логических определителей для обобщенной модели группового матричного криптографического преобразования. Построено зависимость для вычисления относительной сложности и относительного времени реализации группового матричного криптопреобразования в сравнении со скоростью и сложностью матричного криптопреобразования.

**Ключевые слова:** сложность логических определителей, относительная сложность, относительная скорость, прямое и обратное криптографическое преобразование.

### EVALUATION OF SPEEDITY OF IMPLEMENTATION OF GROUPS MATRIX CRYPTOGRAPHIC CONVERGENCE

S.V. Sysoienko

The article considers the results of studies of the definition of relative complexity and an increase in the relative speed of the matrix cryptographic group transformation as a function of the bit width of the matrices. Their theoretical substantiation is carried out. For the generalized model, a regularity is established for calculating the complexity of the logical determinants of a matrix cryptographic group transformation. A dependence is constructed to calculate the relative complexity and relative time of realization of group matrix crypto-transformation in comparison with the speed and complexity of matrix crypto-transformation.

**Keywords:** complexity of logical determinants, relative complexity, relative velocity, direct and reverse cryptographic transformation.

І.А. Хижняк<sup>1</sup>, О.М. Маковейчук<sup>2</sup>, В.Г. Худов<sup>3</sup>, І.В. Рубан<sup>3</sup>, Г.В. Худов<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка», Львів

<sup>3</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ТЕМАТИЧНЕ СЕГМЕНТУВАННЯ ЗАШУМЛЕНОГО ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ЗОБРАЖЕННЯ РОЙОВИМ МЕТОДОМ

Проведено стислий відомих автоматичних та інтерактивних методів сегментування зображень, їх переваги та недоліки. Встановлено, що для сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи спостереження, в умовах впливу шумів доцільно використовувати інтерактивні методи сегментування, взагалі та удосконалений еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів, зокрема. Проведено сегментування оптико-електронного зображення в умовах впливу адитивного білого гаусового шуму при різних значеннях середньоквадратичного відхилення та візуальна оцінка якості сегментування. Проведено порівняння удосконаленого еволюційного методу, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів з відомим методом Канні в умовах впливу адитивного білого гаусового шуму. Встановлено, що в умовах впливу адитивного білого гаусового шуму удосконалений еволюційний метод сегментування, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів, забезпечує вираш у значенні інформаційного показника – відстані Кульбака-Лейбнера від 5% до 15%.

**Ключові слова:** оптико-електронне зображення, тематичне сегментування, ройовий метод, мурашиний метод, еволюційний метод, бортова система, адитивний білий гаусовий шум, відстань Кульбака-Лейбнера, інформаційний показник, середньоквадратичне відхилення.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** У теперішній час існує стійка тенденція зростання обсягів даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), що використовуються в інтересах забезпечення діяльності людини в різних сферах: природокористування, господарські потреби, безпека, оборона тощо [1, 2].

Зазначене зростання зумовлене підвищенням вимог до інформаційного забезпечення людської діяльності, а також удосконаленням та розвитком техніки (у тому числі засобів ДЗЗ), підвищенням інформативності даних ДЗЗ. Значну частку серед таких даних, виходячи з їх наочності та придатності до точних вимірювань, займають дані, що отримані засобами оптико-електронного знімання повітряного та космічного базування.

При розробці бортових систем ДЗЗ виникає цілий клас задач, що пов'язаний з проблемами виявлення, виділення та розпізнавання об'єктів, що знаходяться на оптико-електронних зображеннях [2]. При цьому апріорна інформація щодо характеристик об'єктів інтересу на зображеннях є обмеженою та, у кращому випадку, включає лише приблизні розміри та форму об'єктів інтересу [2]. Між тим бортова апаратура переміщується у просторі разом з носієм, крім того її орієнтацію у просторі можна змінювати за допомогою пристроїв позиціювання [1]. Датчики бортової апаратури випробують впливи різного походження, у зв'язку з чим оптико-електронне зобра-

ження, що отримується з бортових систем спостереження, спотворюється. Спотворення ускладнюють, а іноді роблять неможливим здійснення подальшої обробки оптико-електронного зображення з метою його дешифрування. Найбільш впливовими спотвореннями, що впливають на якість оптико-електронного зображення є шум на зображенні, поворот зображення та зміна масштабу зображення [3, 4].

Таким чином, перед розробниками систем обробки зображень стає непроста проблема вибору методів обробки в умовах впливу зазначених вище спотворень.

Це, в свою чергу, зумовлює розробку методів тематичного сегментування зображень в умовах спотворень. В даній роботі основну увагу зосередимо на дослідженні питання тематичного сегментування оптико-електронного зображення в умовах впливу шумів.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Проблема тематичного сегментування оптико-електронного зображення, що отримується з бортової системи спостереження, складна та багатогранна. Зображення має велику інформаційну ємність та апріорну невизначеність, а також велику змінність (зміна ракурсу та освітлення приводить до зміни значень одночасно у всіх елементах зображення) [5, 6]. Крім того, об'єкти, що можуть бути присутніми на зображенні, звичайно входять в складні ієрархічні відношення типу «частина-ціле» та «частина-загальне» [5].

Визначальним моментом у виборі методу розпізнавання об'єктів взагалі та методу тематичного сег-

ментування зокрема є представлення вихідного зображення. Під представленням зображення розуміється формальна система, що дозволяє отримати у явному вигляді опис об'єктів заданого класу [6]. Основними видами представлень об'єктів при тематичному сегментуванні оптико-електронного зображення є: низькорівневі [7], ознакові [8, 9], контурні [10], структурні [5, 11].

Тематичне сегментування об'єкту на основі опису  $Z$  може бути розглянуто як відображення  $Z \rightarrow \{Z(j)\}$ , де  $\{Z(j)\}$  - кінцева множина еталонних описів та реалізується як рішення задачі оптимізації (1) [12]:

$$j^* = \arg \max_{j \in J} \vartheta(Z, Z(j)), j^* \in J, \quad (1)$$

де  $J$  - множина класів;  $\vartheta(Z, Z(j))$  - міра подібності  $Z$  та  $Z(j)$ .

При визначенні міри подібності  $\vartheta(Z, Z(j))$  розраховується потужність  $\mu(Z_j)$  підмножини  $Z_j \subseteq Z$ , для елементів якого встановлена еквівалентність  $Z(j)$ , та при рішенні (1) визначається  $Z_j$  найбільшої потужності. Якщо  $\mu(\bullet)$  - потужність множини, то значення виразів  $\mu(Z_{j^*})/\mu(Z)$  або  $\mu(Z_{j^*})/\mu(Z(j))$  трактуються як оцінка апостеріорної імовірності віднесення  $Z$  до класу  $j$ . Розрахунок  $\mu(Z_j)$  для моделі  $Z$  зводиться до побудови на множині  $Z$  представлення  $Z = \bigcup_{i \neq j} Z_i$  у вигляді розбивки  $(Z_i \cap Z_j) = \emptyset$  або покриття  $(Z_i \cap Z_j) \neq \emptyset$  їх елементів, які отримують мітку класу  $j$  при відображенні  $Z \rightarrow J$  [5, 12].

Складність тематичного сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортових систем спостереження, також обумовлена [13]:

- по-перше, аномаліями (невеликими областями зображення), які можуть бути прийнятими за шум або дефект зображення;
- по-друге, невідомою формою та нечіткими границями об'єктів інтересу.

У теперішній час існує достатня кількість методів сегментування, які мають переваги та недоліки. Але не існує одного універсального методу, тому для кожної задачі тематичного сегментування в загальному випадку необхідно підбирати вручну метод, який спроможний видавати найкращий результат.

Широкий спектр методів сегментування зображень описаний в різній літературі, наприклад, досить повний огляд таких методів наведено в [13–15]. Методи сегментування поділяються на два класи: автоматичні [14] – не потребують взаємодії з користувачем; інтерактивні [15] – в процесі роботи потребується участь користувача.

Існує два класи задач автоматичного сегментування [14, 15]:

- визначення областей зображення з певними властивостями;
- дроблення зображення на однорідні області.

Найбільш популярними та відомими методами автоматичного сегментування є: метод  $k$ -середніх, гістограмні методи, оператори виділення границь, методи розростання областей, методи розрізу графа та інші [15]. Так, наприклад, метод  $k$ -середніх заснований на мінімізації квадратичної помилки. Метод проводить кластеризацію точок (пікселів) на зображенні (побудову  $k$  кластерів [15]). Вибір числа кластерів  $k$ , як правило, базується на результатах попередніх досліджень або на основі експертної оцінки. Але в процесі сегментування зображення метод  $k$ -середніх не виключає зайву інформацію, таку, наприклад, як шуми різного походження.

Метод сегментування з використанням нейронної мережі Кохонена [16] представляє двохшарову мережу – кожен нейрон першого (розподільчого) шару поєднаний з усіма нейронами другого (вихідного) шару, які розташовані у вигляді двовірної решітки. Основний істотний недолік автоматичних методів сегментування – недостатня точність роботи [15]. З аналізу результатів, наведених в [13, 14], зрозуміло, що нові методи автоматичного сегментування не зможуть вирішити абсолютно всі завдання сегментування з необхідним результатом. І, більш того, є підстави вважати, що у найближчий час такі методи не з'являться [17].

У зв'язку з цим, більша увага приділяється інтерактивним методам сегментування [15]. В основі розроблених методів лежать ройові методи, до яких відносяться [18]: метод рою частинок, мурашиний метод, бджолиний метод, штучна імунна система, метод капель води, метод зозулі, метод альтруїзму, метод гравітаційного пошуку. Ройові методи показали свою спроможність щодо сегментування оптико-електронних зображень при рішенні NP-повних комбінаторних задач у порівнянні з генетичними методами [16]. В [16] також розроблено метод сегментування оптико-електронного методичного зображення з використанням змішаного методу  $k$ -середніх, рою частинок та експоненціального методу рою частинок. Використання методів, що отримано в [16] до сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, не можливо, так як потребує зміни цільова функція (фітнес-функція), не враховано особливості формування зображення, особливості функціонування бортових систем спостереження та інше.

Сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи спостереження мурашиним методом розглянуто в роботі [19]. В [19] викладена сутність простішого еволю-

ційного методу сегментування оптико-електронного зображення, який відноситься до мурашиних методів, проведено удосконалення простішого еволюційного методу сегментування зображення, проведена перевірка працездатності простішого та удосконаленого еволюційних методів сегментування на контрольному прикладі, проведені експериментальні дослідження щодо сегментування еволюційним методом зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження.

В [20] викладена сутність простішого ройового методу сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи спостереження, проведено експериментальні дослідження щодо застосування ройового методу до сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, проведена візуальна оцінка якості сегментованого зображення та виділені можливі об'єкти інтересу для подальшого дешифрування оптико-електронного зображення.

В [21] для підсилення переваг та послаблення недоліків еволюційного (мурашиного) методу та ройового методів запропоновано ройовий інтелект на основі інтеграції моделей адаптивної поведінки мурашиної та бджолоїної колоній. Але напряму результати роботи [21] не можуть бути використані при сегментуванні оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження.

В [22] наведено удосконалений еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів.

Однак, відомі методи сегментування зображень, що отримані з бортових систем оптико-електронного спостереження, не досліджувалися на стійкість до різного роду спотворень.

**Мета статті** – провести оцінку ефективності тематичного сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи спостереження, в умовах впливу шумів ройовим методом

## Постановка задачі та викладення матеріалів дослідження

У якості ройового методу сегментування будемо використовувати удосконалений еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів [22]. Сутність мурашиного еволюційного методу викладена в роботі [19], а сутність ройового методу викладена в роботі [20]. Удосконалений еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів, наведений на рис. 1.

У виразі (2) позначені такі складові:  $P_i^m(t)$  - імовірність переходу  $m$ -го агента (мурахи) в  $i$ -у ПТМ з вра-

хуванням привабливості  $i$ -ї ділянки маршруту  $L_i$  та концентрації феромонів на цій ділянці  $F_i$  в момент часу  $t$ ;  $J$  – кількість можливих ПТМ;  $\alpha$  і  $\beta$  – параметри, що задають вагу феромона і привабливості ділянки («жадібність» методу), відповідно.

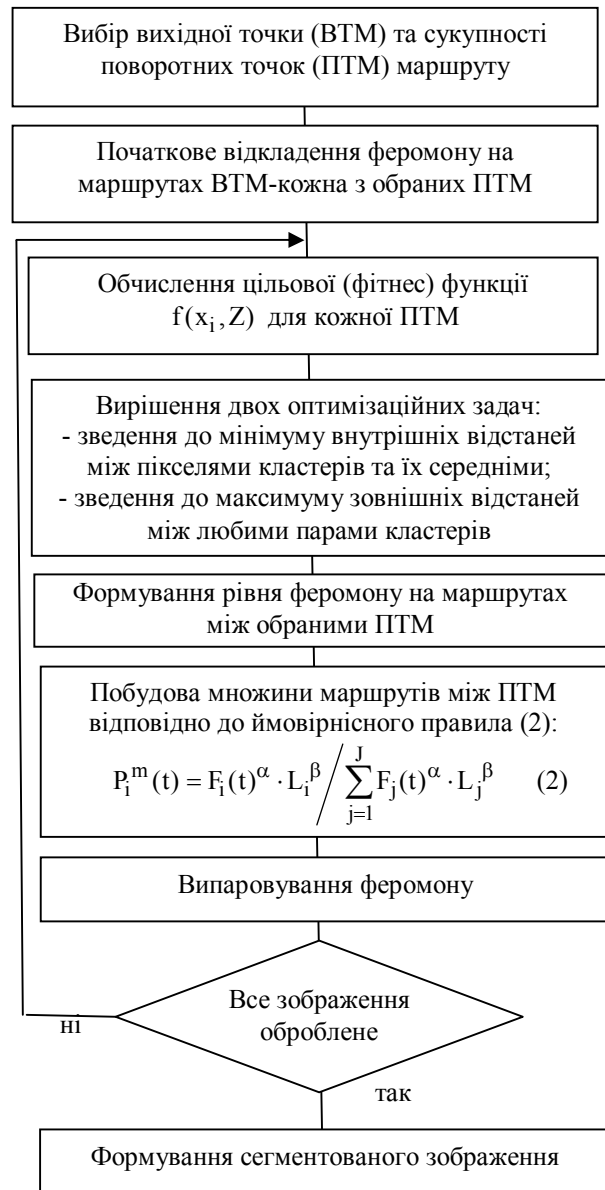


Рис. 1. Удосконалений еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів [22]

У якості вихідного будемо розглядати зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження (рис. 2 [23]).

В роботі будемо використовувати модель спотворення, що представлена адитивним білим гаусовим шумом (АБГШ). Реалізацією АБГШ є двомірний випадковий процес з нульовим середнім, заданою дисперсією та гаусовою щільністю розподілу. При моделюванні реалізація шуму додавалася до вихідного незашумленого зображення (рис. 2).



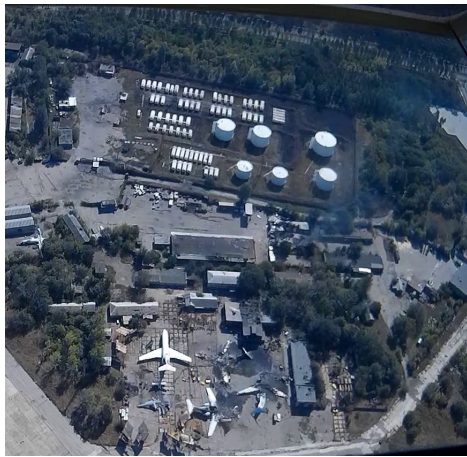


Рис. 2. Вихідне зображення [23]

Модель перешкоди та зображення може бути представлена виразом

$$I_{\text{ш}}^{\text{адд}}(i, j) = I_0(i, j) + N_{\text{гаус}}(\sigma), \quad (3)$$

де  $(i, j)$  – координати пікселів на зображенні;  $I_0(i, j)$  – вихідне зображення без перешкод;  $I_{\text{ш}}^{\text{адд}}(i, j)$  – зображення, що спотворене АБГШ;  $N_{\text{гаус}}(\sigma)$  – АБГШ з нульовим середнім та заданим середньоквадратичним відхиленням  $\sigma$ .

На рис. 3 – 5 наведені зображення  $I_{\text{ш}}^{\text{адд}}(i, j)$  що спотворене АБГШ з нульовим середнім та заданими середньоквадратичними відхиленнями  $\sigma = 0,05$ ,  $\sigma = 0,25$  та  $\sigma = 0,5$  відповідно.

Результати сегментування зображень, що наведені на рис. 2 – 5 удосконаленим еволюційний методом, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів [22], наведені на рис. 6 – 9 відповідно. При цьому наведені результати сегментування полутонового (у відтінках сірого) зображень.

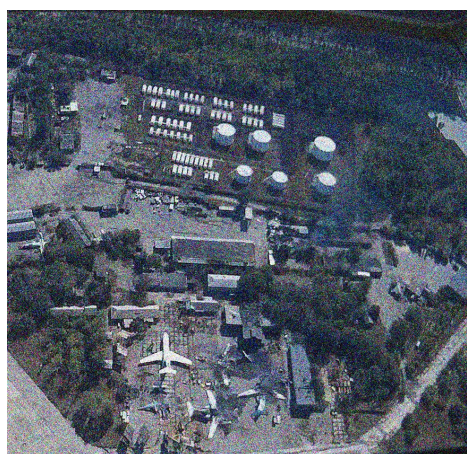


Рис. 3. Зображення  $I_{\text{ш}}^{\text{адд}}(i, j)$ , що спотворене АБГШ з нульовим середнім та заданим середньоквадратичним відхиленням  $\sigma = 0,05$

З аналізу результатів сегментування, що наведені на рис. 6–9, видно, що наявність АБГШ суттєво

впливає на якість сегментування оптико-електронного зображення: з'являються артефакти обробки на краях зображення, контури об'єктів стають нечіткими, спостерігається ефекти, які притаманні змазуванню та розфокусуванню зображення.



Рис. 4. Зображення  $I_{\text{ш}}^{\text{адд}}(i, j)$ , що спотворене АБГШ з нульовим середнім та заданим середньоквадратичним відхиленням  $\sigma = 0,25$

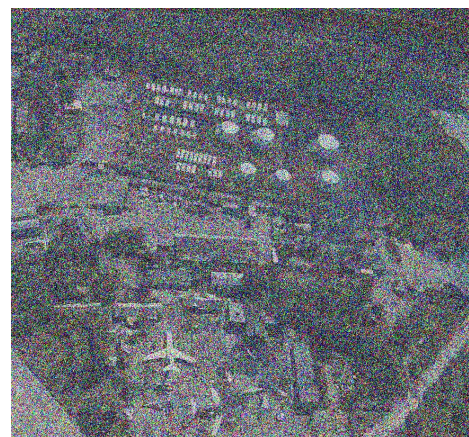


Рис. 5. Зображення  $I_{\text{ш}}^{\text{адд}}(i, j)$ , що спотворене АБГШ з нульовим середнім та заданим середньоквадратичним відхиленням  $\sigma = 0,5$



Рис. 6. Результат сегментування вихідного зображення (рис. 2)



Рис. 7. Результат сегментування зображення  $I_{\text{ш}}^{\text{адд}}(i, j)$ , що спотворене АБГШ з нульовим середнім та заданим середньоквадратичним відхиленням  $\sigma = 0,05$  (рис. 3)

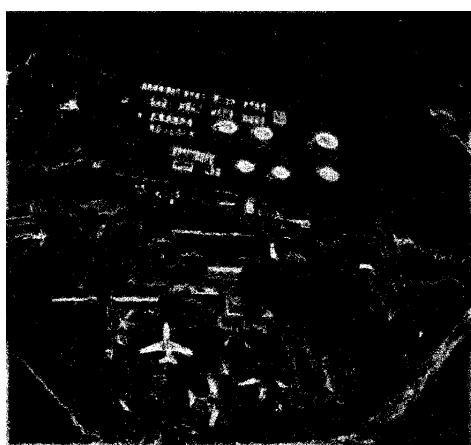


Рис. 8. Результат сегментування зображення  $I_{\text{ш}}^{\text{адд}}(i, j)$ , що спотворене АБГШ з нульовим середнім та заданим середньоквадратичним відхиленням  $\sigma = 0,25$  (рис. 4)

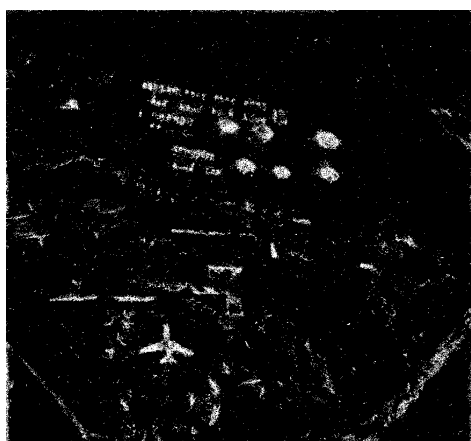


Рис. 9. Результат сегментування зображення  $I_{\text{ш}}^{\text{адд}}(i, j)$ , що спотворене АБГШ з нульовим середнім та заданим середньоквадратичним відхиленням  $\sigma = 0,5$  (рис. 5)

Проведемо кількісну оцінку ефективності сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження та спотворене АБГШ з нульовим середнім та заданим середньоквадратичним відхиленням. У якості показника ефективно-

сті будемо використовувати інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейбнера  $K(p_{\xi}, p_{\eta})$  [24], яка може бути розрахована за виразом (4):

$$K(p_{\xi}, p_{\eta}) = \int_{R^2} p_{\xi}(x) \log \frac{p_{\xi}(x)}{p_{\eta}(x)} dx, \quad (4)$$

де  $p_{\xi}$  – розподіл яскравості на вихідному зображенні;  $p_{\eta}$  – розподіл яскравості на сегментованому зображенні;  $R^2$  – площа зображення.

Для більшої наочності проведемо порівняння удосконаленого еволюційного методу, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів [22], з відомими методами сегментування. У якості відомого методу сегментування обрано метод Канні, властивості якого досліджувалися авторами в роботі [25]. Для прикладу на рис. 10, 11 наведені результати сегментування зображень, що наведені на рис. 4, 5, методом Канні. Наведені результати сегментування полутонового (у відтінках сірого) зображень.



Рис. 10. Результат сегментування методом Канні зображення  $I_{\text{ш}}^{\text{адд}}(i, j)$ , що спотворене АБГШ з нульовим середнім та заданим середньоквадратичним відхиленням  $\sigma = 0,25$  (рис. 4)



Рис. 11. Результат сегментування методом Канні зображення  $I_{\text{ш}}^{\text{адд}}(i, j)$ , що спотворене АБГШ з нульовим середнім та заданим середньоквадратичним відхиленням  $\sigma = 0,5$  (рис. 5)

З порівняння рис. 8 та 10, рис. 9 та 11 візуально видно, що якість рис. 8 та 9 краще за якість рис. 10 та 11. Це свідчить про кращу ефективність удосконаленого еволюційного методу сегментування, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів [22], у порівнянні з відомим методом сегментування Канні [25]. На рис. 12 наведений графік залежності відстані Кульбака-Лейбнера  $K(p_\xi, p_\eta)$  від зміни значення середньоквадратичного відхилення  $\sigma$  при сегментуванні оптико-електронного зображення з використанням удосконаленого еволюційного методу сегментування, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів [22], та відомого методу сегментування Канні [25]. Для кожного значення середньоквадратичного відхилення АБГШ в діапазоні від 0 до 0,5 з кроком 0,05 розраховувалась відстань Кульбака-Лейбнера між еталонним і обробленим зображенням для різних методів сегментування. Відстань Кульбака-Лейбнера розраховувалась за виразом (4) з використанням логарифму за основою 2, отже відстань Кульбака-Лейбнера вимірюється у бітах, а для зображення в градаціях сірого (полутонного зображення) (0...255) максимальне значення відстані Кульбака-Лейбнера дорівнює 8. З аналізу рис. 12 видно, що удосконалений еволюційний метод сегментування, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів [22], забезпечує значний вигравш у порівнянні з відомим методом сегментування Канні [25].

$K(p_\xi, p_\eta)$ , біт

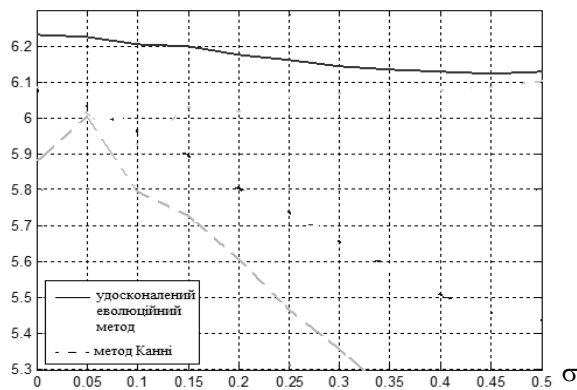


Рис. 12. Залежність відстані Кульбака-Лейбнера від заданого значення середньоквадратичного відхилення при різних методах сегментування

### Висновки і напрями подальших досліджень

Таким чином, в роботі:

- встановлено, що оптико-електронне зображення, що отримується з бортових систем спостереження, спотворюється, що ускладнює подальшу обробку оптико-електронного зображення з метою його дешифрування;
- проаналізовано відомі методи сегментування зображень, які поділяються на два класи: автоматичні та інтерактивні, їх переваги та недоліки;

- встановлено, що для сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи спостереження, в умовах впливу шумів доцільно використовувати удосконалений еволюційний метод сегментування оптико-електронного зображення, заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів, зокрема;

- проведено сегментування оптико-електронного зображення в умовах впливу АБГШ при різних значеннях середньоквадратичного відхилення та візуальна оцінка якості сегментування;

- у якості показника оцінки якості сегментування обрано інформаційний показник – відстань Кульбака-Лейбнера;

- проведено порівняння удосконаленого еволюційного методу, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів з відомим методом Канні в умовах впливу АБГШ;

- встановлено, що в умовах впливу АБШГ удосконалений еволюційний метод сегментування, що заснований на інтегруванні мурашиного та ройового методів, дає вигравш у значенні інформаційного показника – відстані Кульбака-Лейбнера від 5 до 15%.

#### Напрямками подальших досліджень є:

- порівняння результатів сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, при впливі шумів з іншими відомими методами сегментування;

- дослідження якості тематичного сегментування оптико-електронного зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, при впливі шумів, відмінних від АБШГ.

### Список літератури

1. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
2. Попов М.О. Стан і перспективи розвитку гіперспектральних систем аерокосмічної розвідки / М.О. Попов, С.В. Гринюк // Наука і оборона. – К., 2012. - № 2. – С. 39–47.
3. Меньшаков Ю.К. Техническая разведка из космоса / Ю.К. Меньшаков. – М.: Academia, 2013. – 656 с.
4. Ким Н.В. Алгоритм управления группой беспилотных летательных аппаратов / Н. В. Ким, И. Г. Крылов // Робототехника и техническая кибернетика, 2014. – № 4. – С. 40–43.
5. Hörster E. Image retrieval on large-scale image databases / E.Hörster, R.Lienhart, M.Slaney // Proc. 6th ACM int. conf. on Image and Video Retrieval, CIVR 2007, 2007. – P. 17–24.
6. Потапов А.С. Исследование представлений изображений на основе принципа репрезентационной длины описания / Потапов А.С. // Изв. вузов., 2008. – Т. 51. – № 7. – С. 3–7.
7. Марр Д. Зрение. Информационный подход к изучению представления и обработки зрительных образов / Д. Марр. – М.: Радио и связь, 1987. – 400 с.
8. Chan T.F. Variational PDE models in image processing / T.F.Chan, J.Shen, L.Vese // Notice AMS, 2003. – V. 50. – P. 14–26.
9. Lei B.J. On feature extraction from images. Technical Report, Deliverable 2.1.1.2.A+B, MCCWS project, Information and Communication Theory Group / B.J.Lei, E.A.Hendriks, M.J.T.Reinders. – TU Delft, 1999. – 57 p.

10. Baker S. *Design and Evaluation of Feature Detectors: PhD thesis / S.Baker. – Columbia University, 1998. – 167 p.*

11. Фурман Я.А. Введение в контурный анализ и его приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А. Фурман. – М.: Физматлит, 2002. – 592 с.

12. Гороховатский В.А. Системы признаков на основе отношений структурных элементов изображений / В.А. Гороховатский // Бионика интеллекта, 2011. - № 1 (75). – С. 48–51.

13. Choudhary R. *Recent trends and techniques in image enhancement using differential evolution – a survey. R. Choudhary, R. Gupta // Int. journal of adv. research in computer science and software engineering, 2017. – Vol. 7. – № 4. – P. 106–112.*

14. Конушин В.В. Методы сегментации изображений: автоматическая сегментация / В.В. Конушин, В.А. Вежнев // Вестник МГУ, 2009. – №5. – С. 50–55.

15. Конушин В.В. Методы сегментации изображений: интерактивная сегментация / В.В.Конушин, В.А.Вежнев // Вестник МГУ, 2008. – №4. – С. 107–118.

16. Dong G. *Color clustering and learning for image segmentation based on neural networks / G. Dong, M. Xie // Neural Networks, IEEE Trans., 2005. – Vol. 16. 4. – P. 925–936.*

17. Эль-Хатиб С.А. Сегментация изображений с помощью смешанного и экспоненциального роя частиц / С.А.Эль-Хатиб // Информатика и кибернетика, 2015. – № 1. – С. 126–133.

18. Водолазский И.А. Роевой интеллект и его наиболее распространенные методы реализации / И.А.Водолазский, А.С.Егоров, А.В.Краснов // Молодой ученый, 2017. – № 4 (138). – С. 147–153.

19. Ruban I. *Segmentation of the images obtained from onboard optoelectronic surveillance systems by the evolutionary method / I. Ruban, H. Khudov, V. Khudov, I. Khizhnyak, O. Makoveichuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2017. – № 5/9 (89). – P. 49–57.*

20. Хижняк І.А. Сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження, ройовим методом / І.А. Хижняк // Системи озброєння та військова техніка. Науковий журнал, 2017. – № 2 (50). – С. 140–143.

21. Лебедев В.Б. Роевой интеллект на основе интеграции моделей адаптивного поведения муравьиной и пчелиной колоний / В.Б. Лебедев, О.Б. Лебедев // Известия ЮФУ. Технические науки, 2013. – № 7. – С. 41–47.

22. Хижняк І.А. Інтегрування мурашиного та ройового методів сегментування зображення, що отримано з бортової системи оптико-електронного спостереження / І.А. Хижняк // Системи управління, навігації та зв'язку, 2017. – Вип. 6 (46). – С. 61–64.

23. IKONOS Satellite Images Gallery, Satellite Map [Electronic resource] / Satellite Imaging Corporation. – Access mode: URL: <http://www.satimagingcorp.com/gallery/ikonos> – 20.01.2017 year.

24. Худов В.Г. Оцінка якості сегментування оптико-електронного зображення шляхом оцінки комплексних показників та відстані Кульбака-Лейбнера / В.Г. Худов, О.М. Маковейчук, І.А. Хижняк // Системи обробки інформації, 2017. – Вип. 4 (150). – С. 27–30.

25. Оцінка відстані Кульбака-Лейбнера при тематичному сегментуванні оптико-електронного зображення методом Канні / Г.В. Худов, В.Г. Худов, І.А. Хижняк, І.В. Новікова // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, 2017. – № 2 (29). – С. 83–90.

Надійшла до редколегії 15.01.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Морозов, Національна академія Національної гвардії України, Харків.

## ТЕМАТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ЗАШУМЛЕННОГО ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ РОЕВЫМ МЕТОДОМ

И.А. Хижняк, А.Н. Маковейчук, В.Г. Худов, И.В. Рубан, Г.В. Худов

Проведено короткий анализ известных автоматических и интерактивных методов сегментации изображений, их достоинства и недостатки. Установлено, что для сегментации оптико-электронного изображения, полученного с бортовой системы оптико-электронного наблюдения, в условиях воздействия шумов целесообразно использовать интерактивные методы сегментации вообще и усовершенствованный эволюционный метод сегментации оптико-электронного изображения, который основанный на интегрировании муравьиного и роевого методов, в частности. Проведена сегментация оптико-электронного изображения в условиях воздействия аддитивного белого гауссова шума при разных значениях среднеквадратического отклонения и визуальная оценка качества сегментации. Проведена сравнительная оценка усовершенствованного эволюционного метода, который основан на интегрировании муравьиного и роевого методов с известным методом Канни. Установлено, что в условиях воздействия аддитивного белого гауссова шума усовершенствованный эволюционный метод сегментации, который основан на интегрировании муравьиного и роевого методов, обеспечивает выигрыш в значении информационного показателя – расстояния Кульбака-Лейбнера от 5% до 15%.

**Ключевые слова:** оптико-электронное изображение, тематическая сегментация, роевой метод, муравьиный метод, эволюционный метод, бортовая система, аддитивный белый гауссовый шум, расстояние Кульбака-Лейбнера, информационный показатель, среднеквадратическое отклонение.

## THEMATIC SEGMENTATION OF THE SLIPED OPTICAL-ELECTRONIC IMAGE WITH A SWARM METHOD

I.A. Khizhnyak, A.N. Makoveychuk, V.G. Khudov, I.V. Ruban, H.V. Khudov

A short analysis of known automatic and interactive methods of image segmentation, their advantages and disadvantages is carried out. It has been found that for segmentation of the optic-electronic image obtained from the on-board optic-electronic observation system, it is advisable to use interactive segmentation methods in general and an improved evolutionary method for segmentation of the optoelectronic image, which is based on the integration of the ant and swarm methods, in particular. Segmentation of the optic-electronic image under the influence of additive white Gaussian noise at different values of the root-mean-square deviation and a visual assessment of segmentation quality were carried out. A comparative evaluation of the improved evolutionary method is carried out, which is based on integrating the ant and swarm methods with the known Canni method. It is established that under the influence of additive white Gaussian noise, the improved evolutionary segmentation method, which is based on the integration of the ant and swarm methods, provides a gain in the value of the information indicator – Kulbak-Leibner distance from 5% to 15%.

**Keywords:** optic-electronic image, thematic segmentation, swarm method, ant method, evolution method, airborne system, additive white Gaussian noise, Kullback-Leibner distance, information indicator, standard deviation.



П.Ф. Щапов<sup>1</sup>, Р.С. Томашевський<sup>1</sup>, Б.В. Ткачук<sup>1</sup>, В.М. Павлюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

<sup>2</sup> Медичинський центр МІЛНЕР МЕДИКАЛ (Milner Medical Center), Харків

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ СТАТИСТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕДУРОЮ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ ПРИ ПРОГРАМНОМУ ГЕМОДІАЛІЗІ

У статті запропоновано інформаційну технологію статистичного управління процедурою ультрафільтрації при програмному гемодіалізі на основі інформації, отриманої з сигналів біоімпедансометрії. У статті проведено аналіз літературних джерел, який показав гостру необхідність розробки системи інформаційної підтримки процедури гемодіалізу або її автоматизації. Недосконалість класичних методів оцінки рівня гідратації пацієнта не дозволяє використовувати їх в якості сигналів індикації стану біологічного об'єкта в режимі реального часу. Аналітичний огляд показав, що найбільш підходящим сигналом, за допомогою якого можливий моніторинг стану пацієнта, є сигнал біоімпедансометрії. Метою роботи була розробка інформаційної технології моніторингу стану пацієнта і статистичного управління процедурою ультрафільтрації на основі сигналів біоімпедансометрії. Для аналізу таких сигналів був обраний коваріаційний аналіз, так як він дозволяє оцінити глобальні та локальні тренди сигналу з урахуванням його нестационарності, а також оцінити значимість зміни цих трендів. На тренди класичного коваріаційного розкладання, в роботі був запропонований модифікований коваріаційний метод аналізу, який дозволяє враховувати відносну зміну трендів біоімпедансних сигналів на декількох частотах, і, тим самим, зменшуючи суму випадкового залишку. Такий підхід дозволяє, збільшуючи чутливість методу до динамічних змін, отримати додатковий інформативний параметр. Експериментальні дослідження на пацієнтах, які перебувають на процедурі програмного гемодіалізу, показав ефективність запропонованого методу. Адекватність отриманих статистичних рішень повністю підтвердилася результатами контрольованого дослідження - вимірювання рівня гематокриту.

**Ключові слова:** програмний гемодіаліз, ультрафільтрація, інтерстиціальна рідина, біоімпедансометрія, модель Фрікке-Морзе, коваріаційний аналіз, оптимізація, середній ризик, статистичне управління.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день, в лікувальних установах світу встановлена велика кількість апаратів для гемодіалізу. В Україні, крім спеціалізованих діалітичних центрів, апарати є в відділеннях реанімації та інтенсивної терапії основних міських лікарень. Лікування програмним гемодіалізом в Україні, станом на 2016 рік проходить понад 5,5 тисяч осіб з хронічною нирковою недостатністю.

Але не дивлячись на відчутну затребуваність даного методу, існує ряд ускладнень під час гемодіалізу. При досягненні пацієнтом стану нормогідратації, швидкість, з якою заповнюється судинне русло з навколишніх тканин, зменшується. У деяких хворих збільшення ваги в междіалітичний період невелика або зовсім відсутня. Спроби прибрати рідина у пацієнта при відсутності її надлишку ведуть до гіпотензії як на діалізі, так і після нього, і поєднуються з судомою, запамороченням і загальним нездужанням. З іншого боку, іноді персонал занадто обережний в спробах видалити рідину у хворих, схильних до гіпотензії, і це веде до перевантаження рідиною і гіпертензії [1, 6].

На даний момент, не існує адекватних методик та апаратних засобів для визначення стану нормогідратації при програмному гемодіалізі. Обсяг рідини необхідний для скачування, пацієнту озвучує лікар

при огляді, тільки виходячи зі свого досвіду і суб'єктивних відчуттів пацієнта [1-3].

### Аналіз літератури

Гемодіаліз – це процедура апаратної, екстракорпоральної очистки крові, яка представляє собою тривалу, циклічну циркуляцію крові через спеціальний фільтр. Під час гемодіалізу з крові видаляються шлаки, продукти обміну речовин, а також надлишки рідини (ультрафільтрат), накопичені за час, який нирки нормально не функціонували. Забір і повернення крові здійснюється через спеціалізований артеріо-венозний доступ (фістулу) або катетер. Середня тривалість процедури становить чотири години, періодичність - три рази в тиждень [2-3].

Принцип дій апаратів «штучна нирка» різних виробників приблизно однаковий, різниця складаються лише в дизайні, як обладнання та витратних матеріалів, а також наявності додаткових опцій [2].

Існує кілька груп показників, визначення яких дозволяє знизити ризик виникнення ускладнень і підвищити терапевтичний ефект процедури: показники електролітного складу внутрішньо- і позаклітинної рідини, показники гемодинаміки, показники функціонально пов'язані з рідинними секторами організму [1-3, 10].

Під контролем гемодинаміки розуміється контроль кровонаповнення судин, контроль артеріально-

го тиску, пульсу та інші. Контроль тиску, в даний час, проводиться ручним або осцилометричним методом, в певний час в ході процедури. Блок для вимірювання артеріального тиску вбудований в деяких апаратах «штучна нирка», також він дозволяє контролювати і пульс пацієнта [3,10].

Для контролю кровонаповнення використовуються ультразвукові датчики, які кріпляться на магістраль з кров'ю. По проходженню ультразвукового сигналу визначають щільність крові, обчислюючи гематокрит, гемоглобін, зміна обсягу крові щодо початку процедури, тим самим, не даючи під час скачування рідини з крові, переступити поріг критичного її згущення. Для корекції вимірювань, вироблених таким способом необхідна температурна корекція, так як щільність крові в значній мірі залежить від її температури [3, 6]. Вартість подібного обладнання надзвичайно висока. Контроль зміни обсягів водних середовищ організму під час процедури ПГД в світовій практиці не використовується, так як на сьогоднішній день відсутні відповідні методики і апаратні засоби. Значення даних обсягів лікар визначає виходячи з власних знань і досвіду, а також суб'єктивних відчуттів пацієнта.

Вся рідина організму поділяється на внутрішньоклітинну (ВКР) і позаклітинну рідини (ПЗР) (рис. 1). У поняття ПЗР входять всі рідкі фракції організму, не включені у клітинні мембрани: внутрішньосудинна рідина (ВР) – плазматична рідина і лімфа, інтерстиціальна рідина (ІР), а також трансцелюлярна рідина (ТР), яка міститься в спеціалізованих порожнинах (спинномозкова, перикардальна, плевральна, синовіальна, внутрішньоочна, травні соки) [4]. Об'єм ПЗР ( $V_{ПЗР}$ ) дорівнює сумі об'ємів інтерстиціальної ( $V_{ІР}$ ), внутрішньосудинної ( $V_{ВР}$ ) і трансцелюлярної ( $V_{ТЦ}$ ) рідин

$$V_{ВКЖ} = V_{ІЖ} + V_{СЖ} + V_{ТЦ}. \quad (1)$$

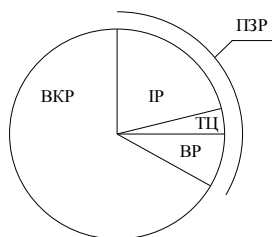


Рис. 1. Розподіл рідин в організмі

Надлишки рідини в організмі представлені в основному ПЗР, яка розташовується в судинному руслі, органах системи кровообігу і скелетної мускулатури [11]. При видаленні рідини з судинного русла відбувається перерозподіл водноелектролітного складу рухомої частини ПЗР. При цьому надлишки рідини  $V_{УФ}$ , при процедурі ультрафільтрації видаляється з судинного русла, а воно у свою чергу, заповнюється рідиною з тканини (або інтерстиці-

ального сектора), при цьому обсяг клітинної рідини залишається практично незмінним [4, 10].

У разі якщо швидкість ультрафільтрації більше швидкості заповнення судинного русла, то через деякий час, обсяг судинної рідини зменшиться до критичного, а це призведе до падіння артеріального тиску. Для недопущення подібної ситуації, необхідно постійно контролювати артеріальний тиск, а, отже, і обсяг судинної рідини доступний для скачування і кількість надлишків рідини, які містяться в інтерстиціальному просторі [2, 3, 10].

### Метод біоімпедансометрії для інформаційної підтримки процедури ультрафільтрації

Біоімпедансний метод заснований на вимірюванні імпедансу  $Z$  всього тіла або окремих сегментів тіла з використанням спеціальних приладів – біоімпедансних аналізаторів. Електричний імпеданс біологічних тканин має два компоненти: активний  $R$  і реактивний опір  $X$ , пов'язані співвідношенням:

$$Z^2 = R^2 + X^2. \quad (2)$$

Складовою активного опору  $R$  в біологічному об'єкті є рідини (ВКР і ПЗР), що мають іонний механізм провідності. Складовою реактивного опору  $X$  є клітинні мембрани. Біоімпедансний аналіз складу тіла полягає в оцінці кількості рідини в біооб'єкті, так як саме рідке середовище створює активну складову провідності [5-9].

Електричний струм може протікати, огинаючи клітини і через клітини, як показано на рис. 2, а. Межі клітин утворені мембранами, які за своїми електричними властивостями є конденсаторами з залежною від частоти змінного струму ємністю [5-8, 17].

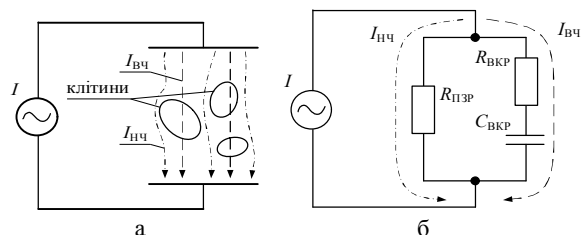


Рис. 2. Схема проходження струмів (а) і загальноприйнята еквівалентна схема (б) одиничного відрізок тканини при БІМ

Еквівалентна схема біооб'єкту, звана також моделлю Фрике - Морзе, (рис. 2, б) містить опір позаклітинної рідини  $R_{ПЗР}$ , опір клітинної рідини  $R_{ВКР}$  і ємність мембран  $C_M$ . Щоб визначити обсяг ВКЖ, необхідно вимірювати імпеданс на постійному струмі, так як в цьому випадку клітинні мембрани залишаються непроникними, і внутрішньоклітинна рідина не впливає на результат вимірювання. Для визначення загальної рідини організму, необхідно вимірювати імпеданс на нескінченно великій частоті, коли струм проходить через клітку.

Уточнена схема для БІМ процесів гідратації в організмі пацієнта на ПГД, що була представлена у ряді робіт [18, 19], матиме вигляд, як на рис 3. Ця схему враховує можливості визначення і моніторингу гемодинамічних параметрів при процедурі ультрафільтрації, та включає окрему гілку, що характеризує формені елементи крові (ФЕК). У цій схемі  $R_{\text{ФЕК}}$  – відповідає обсягу рідини в ФЕК,  $R_{\text{КР}}$  – обсягом рідини у всіх інших клітинах (за винятком ФЕК),  $C_{\text{ФЕК}}$  – ємність мембран клітин формених елементів крові,  $C_{\text{КР}}$  – ємність мембран всіх клітин організму (за винятком клітин формених елементів). На рис. 4 наведені три складові результатів біоімпедансометрії (на частотах 20, 100 та 500 кГц), що були отримані впродовж стандартної процедури УФ. Дослідження, проведені у роботах [17,18] дозволили умовно розділити процедуру УФ на три характерні фази: I

фаза – зниження обсягу судинного русла, запуск механізму компенсації з позаклітинної рідини; II фаза – видалення позаклітинної рідини організму без зниження рівня судинного русла; III фаза – зупинка транспорту між судинним і інтерстиціальним руслом, видалення рідини проводиться тільки з судин. Перехід організму в критичний стан.

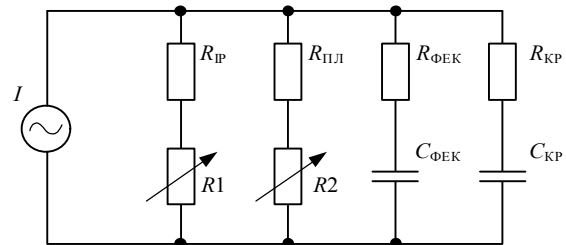


Рис. 3. Розширена еквівалентна електрична схема для БІМ процесів гідратації організму при процедурі ПГД

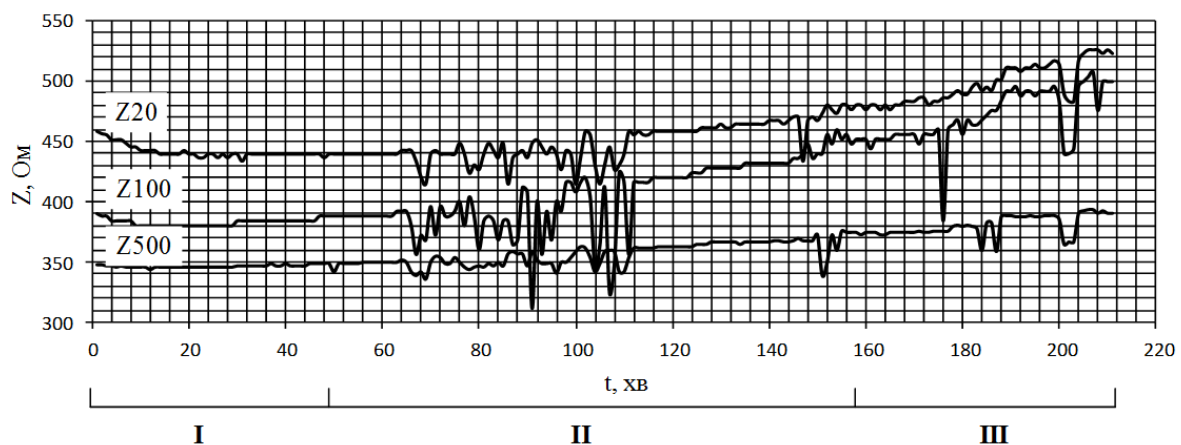


Рис. 4. Результати біоімпедансометрії та трьох стандартних частотах (20, 100 та 500 кГц) впродовж типової процедури УФ

Також у попередніх роботах було запропоновано використання статистичних методів аналізу даних, отриманих за допомогою БІМ під час процедури УФ, для підтримки прийняття рішень лікарем про поточний рівень гідратації пацієнта, з урахуванням його вітальних ознак. Для цього було застосовано класичний коваріаційний аналіз результатів вимірювання БІМ-сигналу, причому первинні дані були підготовлені двома методиками: сканування (ковзаюче вікно з фіксованою кількістю відліків) та накопичення (в аналіз включені усі дані, кількість яких зростає впродовж процедури УФ). У результаті досліджень було встановлено F-статистики  $F_0$ ,  $F_{WG}$ ,  $F_G$ ,  $F_W$  можуть бути використані у якості інформативних параметрів активного моніторингу стану пацієнта та можуть дозволити визначення переходу з однієї фази процедури УФ на інший. Однак, окреме використання в якості інформативних параметрів F-статистик БІМ-сигналів на різних частотах не дозволяє однозначно судити про рівень гідратації пацієнта, так як не враховує взаємний вплив різних складових БІМ, і може бути використана лише для ідентифікації зміни тренда кожної з них. Таким чином, необхідна розробка методу аналізу результатів

вимірювання БІМ-сигналу на основі коваріаційного розкладання, що враховує взаємне змін трендів таких сигналів на різних частотах, і дозволяє повністю використовувати інформаційні властивості БІМ-моніторингу при проведенні процедури УФ.

**Мета роботи:** розробка інформаційної технології модифікованого коваріаційного аналізу для статистичного управління і активного моніторингу параметрів процедури ультрафільтрації з використанням неінвазивних сигналів біоімпедансометрії.

### Метод модифікованого коваріаційного аналізу

Удосконалення класичної моделі коваріаційного аналізу можливо, якщо використовувати систему багаторазових спостережень (вимірювань) значень випадкової величини  $Y$ , що залежить від фактору часу  $X$ . Особливість такої моделі – це можливість тривимірного представлення величини  $Y$  і двовимірного представлення величини  $X$ , представлених відповідно реалізаціями  $y_{ij}$  і  $x_{it}$ , де  $t$  – номер частинної регресії (групи),  $i$  – номер внутрішньогрупового вимірювання,  $j$  – номер багаторазового внутрішньогрупового

вимірювання. Розглянемо модифіковану коваріаційну модель двовимірних спостережень при односторонній класифікації, коли для будь-якого з фіксованих значень аргументу  $x_{ti}$  мають місце  $n_{ti}$  багаторазових спостережень  $Y_{tij}$  випадкової функції  $Y$

$$Y_{tij} = a_t + bx_{ti} + e_{tij}, \quad (3)$$

де  $t = \overline{1, r}$ ;  $i = \overline{1, c_t}$ ;  $j = \overline{1, n_{ti}}$ ;  $r$  – кількість послідовних частинних регресій,  $c_t$  – кількість внутрішньогрупових незалежних багаторазових вимірювань для  $t$ -ї регресії.

Таблиця 1

Результати двофакторного коваріаційного експерименту

№ групи рез. вимірювання	Значення результатів двофакторного експерименту з багаторазовими вимірами				
1	$\{Y_{11j}\}_1^{n_{11}}$	...	$\{Y_{1ij}\}_1^{n_{1i}}$	...	$\{Y_{1c_1j}\}_1^{n_{1c_1}}$
...	$x_{11}$	...	$x_{1i}$	...	$x_{1c_1}$
t	$\{Y_{t1j}\}_1^{n_{t1}}$	...	$\{Y_{tij}\}_1^{n_{ti}}$	...	$\{Y_{tc_tj}\}_1^{n_{tc_t}}$
...	$x_{t1}$	...	$x_{ti}$	...	$x_{tc_t}$
r	$\{Y_{r1j}\}_1^{n_{r1}}$	...	$\{Y_{rij}\}_1^{n_{ri}}$	...	$\{Y_{rc_rj}\}_1^{n_{rc_r}}$
...	$x_{r1}$	...	$x_{ri}$	...	$x_{rc_r}$

Коваріаційна модель (3) дозволяє збільшити кількість членів нового модифікованого коваріаційного розкладання на одиницю

$$S = S_0^M + S_{WG}^M + S_G^M + S_W^M + S_R^M + S_e \quad (4)$$

При незмінності ймовірнісної моделі об'єкта дослідження (за однакової кількості математичних очікувань середнього квадрата повних сум  $S$  та  $S^M$ ) середній квадрат  $\bar{S}_R$  залишкової суми  $S_R$  буде більше середнього квадрата  $\bar{S}_e$  залишкової суми  $S_e$ .

$$\bar{S}_e < \bar{S}_R \quad (5)$$

Нерівність (5) вказує на більш високу чутливість (меншу залишкову дисперсію) модифікованого коваріаційного розкладання (4).

Введемо ряд умовних позначень.

$$\begin{cases} W_t = \sum_{i=1}^{c_t} n_{ti} (x_{ti} - \bar{X})^2; V_t = \sum_{i=1}^{c_t} n_{ti}; \\ W_m = \sum_{t=1}^r W_t = \sum_{t=1}^r V_t (\bar{X}_t - \bar{X})^2; \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} B_c = W_c^{-1} \sum_{t=1}^r W_t \cdot B_t; \\ B_m = \sum_{t=1}^r V_t (\bar{X}_t - \bar{X})(\bar{Y}_t - \bar{Y}) / \sum_{t=1}^r V_t (\bar{X}_t - \bar{X})^2; \\ B_0 = W_0^{-1} (W_c B_c + W_m B_m), \text{ де } W_0 = W_c + W_m; \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \bar{Y} = N^{-1} \sum_{t=1}^r \sum_{i=1}^{c_t} \sum_{j=1}^{n_{ti}} Y_{tij}, \text{ де } N = \sum_{t=1}^r \sum_{i=1}^{c_t} n_{ti}; \\ \bar{Y}_t = V_t^{-1} \sum_{i=1}^{c_t} \sum_{j=1}^{n_{ti}} Y_{tij}; \quad \bar{Y}_{ti} = n_{ti}^{-1} \sum_{j=1}^{n_{ti}} Y_{tij}; \\ \bar{X} = N^{-1} \sum_{t=1}^r \sum_{i=1}^{c_t} n_{ti} \cdot x_{ti}; \quad \bar{X}_t = V_t^{-1} \sum_{i=1}^{c_t} n_{ti} \cdot x_{ti}; \end{cases} \quad (8)$$

У табл. 2 представлені результати модифікованого коваріаційного розкладання і, відповідні їм, нормативні критеріальні F-статистики (враховують, паралельно, варіанти рівності всередині групових,  $C_t=C$ , і багатократних,  $n_{ti}=n$ , вимірювань;  $t = \overline{1, r}$ ;  $i = \overline{1, c}$ ). В цьому випадку

$$N = rcn. \quad (9)$$

Табл. 2 дозволяє уточнити коваріаційну модель (3) у вигляді моделі відхилення результату вимірювання від загальної середньої

$$Y_{tij} - \bar{Y} = B_0(x_{tij} - \bar{X}) + (B_c - B_m)(\bar{X}_t - \bar{X}) + \phi_t + (B_t - B_c)(\bar{X}_t - \bar{X}) + S_{ti} + e_{tij}. \quad (10)$$

Таблиця 2

Результати модифікованого коваріаційного розкладання

Сума квадратів відхилень	Кількість ступенів свободи	Середній квадрат відхилень	Критеріальна F-статистика
$S_0^M = W_0 B_0^2$	1	$\bar{S}_0 = S_0^M$	$F_0 = \bar{S}/S_e$
$S_{WG}^M = \frac{W_c W_m}{W_0} (B_c - B_m)^2$	1	$\bar{S}_{WG} = S_{WG}^M$	$F_{WG} = \frac{\bar{S}_{WG}}{S_e}$
$S_G^M = \sum_{t=1}^r V_t [\bar{Y}_t - \bar{Y} - B_m (\bar{X}_t - \bar{X})]^2$	$r - 2$	$\bar{S}_G = \frac{S_G^M}{r - 2}$	$F_G = \frac{\bar{S}_G}{S_e}$
$S_W^M = \sum_{t=1}^r W_t (B_t - B_c)^2$	$r - 1$	$\bar{S}_W = \frac{S_W^M}{r - 1}$	$F_W = \frac{\bar{S}_W}{S_e}$
$S_R^M = \sum_{t=1}^r \sum_{i=1}^{c_t} n_{ti} [\bar{Y}_{ti} - \bar{Y}_t - B_t (x_{ti} - \bar{X}_t)]^2$	$\sum_{t=1}^r c_t - 2r = r(c - 2)$	$\bar{S}_R = \frac{S_R^M}{r(c - 2)}$	$F_R = \frac{\bar{S}_R}{S_e}$
$S_e = \sum_{t=1}^r \sum_{i=1}^{c_t} \sum_{j=1}^{n_{ti}} (Y_{tij} - \bar{Y}_{ti})^2$	$N - \sum_{t=1}^r c_t = rc(n - 1)$	$\bar{S}_e = \frac{S_e}{rc(n - 1)}$	–
$S = \sum_{t=1}^r \sum_{i=1}^{c_t} \sum_{j=1}^{n_{ti}} (Y_{tij} - \bar{Y})^2$	$N - 1$	$\bar{S} = \frac{S}{N - 1}$	–



Послідовність доданків у правій частині рівняння (10), це послідовність незалежних випадкових відхилень, відповідних послідовності членів розкладання (4). Математичне сподівання всіх відхилень рівняння (10) дорівнюють нулю. залишкова дисперсія  $\sigma_e^2$  послідовного відхилення  $e_{tij}$  – постійна, характеризуючи статистичну невизначеність модифікованої моделі (3). Природно припустити, виходячи з нерівності (5), що

$$\sigma_e^2 < \sigma_R^2. \quad (11)$$

З табл. 2 випливає, що при плануванні коваріаційного експерименту, вимоги до мінімальних обсягів групових (с) багатократних (n) вимірювань визначаються умовами

$$c \geq 3; \quad n \geq 2, \quad (12)$$

при цьому мінімальне кількість (r) залишкових регресій  $r \geq 3$  [13, 15].

Результати вимірювань БІМ-сигналу на різних частотах при процедурі УФ можуть бути розглянуті як результати двофакторного експерименту з багаторазовими вимірами. З використанням виразів коваріаційного модифікованого розкладання (табл. 2) був проведений аналіз БІМ-сигналу (рис. 3), вимірюваного в перебігу типової процедури УФ, і визначені значення F-статистик для двох методик підготовки первинних даних: сканування і накопичення. На рисунку 5 представлені результати аналізу (для статистики  $F_0$ ) результатів вимірювання БІМ-сигналу модифікованим коваріаційним методом.

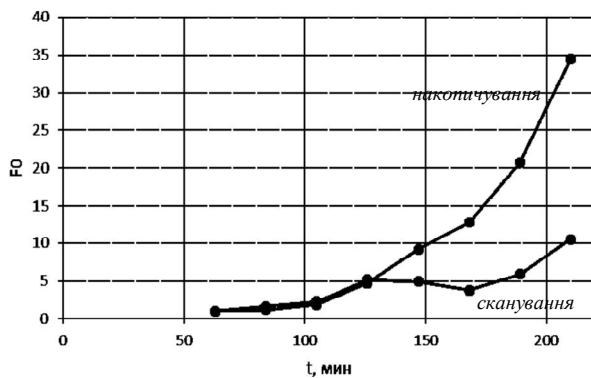


Рис. 5. Результати аналізу БІМ-сигналу модифікованим коваріаційним методом під час стандартної процедури УФ (статистика  $F_0$ ) для процедур сканування та накопичування

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок про те, що F-статистика, отримана в модифікованому коваріаційному аналізі (методикою як накопичення, так і сканування) може бути використаний в якості інформативного параметра моніторингу процедури УФ. Результати такого аналізу враховують групове вплив трендових змін БІМ-сигналу на різних частотах і мають знижений, в порівнянні з класичним коваріаційним аналізом, вплив випадкової шумової

складової. Більш того, даний метод дозволяє, розглядаючи процедуру УФ, як фактор впливає на стан біологічного об'єкта, використовувати стандартний тест на значимість такого впливу. Згідно табл. 2, критичне значення F-статистики для суми  $S_0^M$  і рівні значущості  $\alpha = 0,05$  буде дорівнювати  $F_{1,120,0.05} = 3.92$ . Таким чином, на ділянках зі значеннями стає можливим ідентифікувати ділянку III, на якому вплив фактора на об'єкт стає значущим, що повністю збігається з даними виміру гематокриту. Слід звернути увагу на значну зміну характеру 2 кривих F-статистики одна відносно іншої у точці переходу процедури з II фази у III фазу.

### Комбіновані інформативні показники на основі модифікованого коваріаційного аналізу

З рівняння (10) випливає, що за геометричну нелінійність математичного сподівання прогресу  $Y = F(X)$ , як часового ряду [14, 15], відповідають відхилення  $\phi_t$ ,  $(B_t - B_c)(\bar{X}_t - \bar{X})$  і  $\delta_{ti}$ , відповідні сумами  $S_G^M$ ,  $S_W^M$  і  $S_R^M$ . Перевірка основної гіпотези.  $H_0 : \phi_t = 0; B_t = B_c; \delta_{ti} = 0$  для усіх  $t = \bar{1}, r$  та  $t = \bar{1}, c$  (нелінійність відсутня), може здійснюватися за допомогою комплексної критеріальної статистики

$$F_{(rc-3);rc(n-1)}^{(0)} = (S_G^M + S_W^M + S_R^M) / ((rc-3) \cdot \bar{S}_e), \quad (13)$$

що має  $rc-3$  та  $rc(n-1)$  ступенів свободи.

Вираз (13) можна переписати в іншому вигляді

$$F_{(rc-3);rc(n-1)}^{(0)} = F_G \left( \frac{r-2}{rc-3} \right) + F_W \left( \frac{r-1}{rc-3} \right) + F_R \left( \frac{r-2}{c-3/r} \right). \quad (14)$$

Аналіз останнього виразу показує що при збільшенні числа (с) внутрішньогрупових вимірювань роль критеріальних F-статистик  $F_G$  та  $F_W$ , відповідальних за великомасштабну адитивну і мультиплікативну нелінійності – зменшується. Головну роль починає грати нова F-статистика  $F_R$ , що відповідає за нелінійність дрібномасштабними, і незалежна від обсягів вибірок (r) і (с).

Рішення про те, що гіпотеза  $H_0$  не відкидається приймають, якщо статистика (13) або (14) менше  $\alpha$ -відсоткової точки центрального F-розподілу с  $(rc-3)$  та  $rc(n-1)$  ступенями свободи, тобто якщо

$$F_{(rc-3);rc(n-1)}^{(0)} < F_{(rc-p);rc(n-1);\alpha}. \quad (15)$$

На рис. 6 наведені результати обчислення комплексної критеріальної статистики  $F^{(0)}$  за виразом (14) для даних БІМ-сигналу (рис.4) та критичне значення F-статистики для рівнів значущості  $\alpha = 0,05$  та  $\alpha = 0,01$ . Аналіз динаміки поведінки статистики  $F^{(0)}$  показує однозначність в прийнятті рішень  $\gamma_0$  або  $\gamma_1$  (прийняття гіпотез  $H_0$  і  $H_1$  відповідно) для всього інтервалу спостереження, в процесі активного моніторингу, медико-біологічних параметрів.

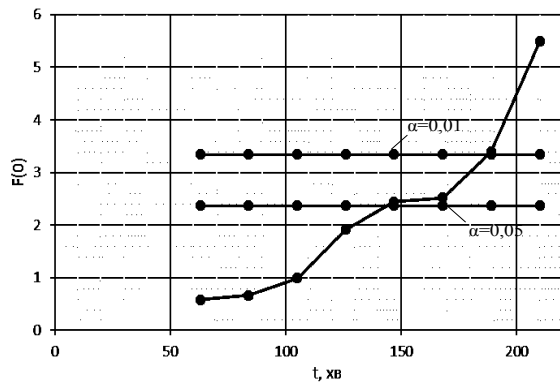


Рис. 6. Результати аналізу БІМ-сигналу модифікованим коваріаційним методом під час стандартної процедури УФ (статистика  $F^{(0)}$ ) та її критичне значення для рівнів значущості  $\alpha = 0,05$  та  $\alpha = 0,01$

Варіювання рівню значущості (у визначеному метрологічними стандартами діапазоні) дозволяє регулювати чутливість інформативного параметра (статистики  $F^{(0)}$ ) та враховувати ступінь факторного впливу на організм пацієнта під час процедури ультрафільтрації.

### Статистичне управління процесом ультрафільтрації за результатами активного моніторингу

Використання модифікованого коваріаційного методу аналізу результатів активного моніторингу

дає досліднику великий арсенал інформативних показників, як незалежних так і комбінованих. Як показує практика, використання будь-яких, навіть найбільш інформативних, медико-біологічних параметрів не виключає ризику в прийнятті помилкових рішень. Активний моніторинг параметрів, побічно відображають динаміку процесу ультрафільтрації, характеризується додатковою невизначеністю прийняття рішень, оскільки включає до складу контрольованих параметрів час спостереження. Останнє перетворює параметри контролю в випадкові величини, що залежать від часу, тобто в випадкові апріорі нестационарні процеси. Моніторинг таких процесів неминуче пов'язаний з прийняттям рішення  $\gamma_1$ , що відображає появу порушення динамічних властивостей медико-біологічного параметра. Використання методу оптимізації за середнім ризиком, що наведена у [17] дозволяє розрахувати кількість інформативних параметрів  $m$  діагностичної моделі, що забезпечує максимум достовірності прийнятого глобального рішення. У табл. 3 наведені результати тестування (у формі підтвердження (0) або відкидання (1) гіпотези  $H_0$ ) по статистикам  $F_0$  і  $F_{WG}$  для рівня значущості  $\alpha = 0,01$ . Загальна кількість використовуваних статистик  $m = 4$ , згідно з результатами оптимізації. У цій же таблиці представлено глобальні рішення  $\Gamma_0$  чи  $\Gamma_1$ .

Таблиця 3

Результати комплексного тестування трендових змін БІМ-сигналів

Процедура тестування		Верхня межа інтервалу спостереження, хв							
		62	83	103	124	145	166	187	210
сканування	$F_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_1$
	$F_{WG}$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$
накопичення	$F_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_1$	$\gamma_1$	$\gamma_1$	$\gamma_1$
	$F_{WG}$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_0$	$\gamma_1$	$\gamma_1$	$\gamma_0$	$\gamma_0$
глобальне рішення		$\Gamma_0$	$\Gamma_0$	$\Gamma_0$	$\Gamma_0$	$\Gamma_1$	$\Gamma_1$	$\Gamma_1$	$\Gamma_1$

Табл. 3 наочно ілюструє можливості статистичного управління процедурою ультрафільтрації при виявленні трендових змін БІМ-сигналів, які свідчать про перехід біологічного об'єкта в критичний режим, що вимагає припинення процедури ультрафільтрації.

### Висновки

В результаті роботи було запропоновано здійснювати процедуру УФ з контролем стану біологічного об'єкта (пацієнта) за допомогою вимірювання і аналізу БІМ-сигналу. Для аналізу даних вимірювань був використаний класичний і модифікований коваріаційний аналіз, який відрізняється більшою інформаційною значимістю за рахунок зменшення суми випадкового залишку в дисперійному розкладанні (14) і дозволяє враховувати трендові зміни БІМ-сигналів на різних частотах. Розроблений метод був апробований на результатах вимірювань БІМ-сигналу при процедурі УФ, і показав свою працездатність для ідентифікації переходу рівня гідратації

пацієнта в критичний стан (збіднення судинного руслу) за допомогою статистики  $F_0$ . В силу незалежності статистик, отриманих в результаті коваріаційного аналізу, особливий інтерес представляє дослідження можливості їх окремого або комплексного застосування для інформаційної підтримки процедури УФ при програмному гемодіалізі.

### Список літератури

1. Даугирдас Джон Т. Руководство по диализу / Даугирдас Джон Т., Блейк Питер Дж., Тодд С. Инг. – М.: Центр Диализа. – 2003. – 744с.
2. Стецюк Е.А. Основы гемодиализа / Е.А. Стецюк. – М.: Изд. дом ГЭОТАР-МЕД, 2001. – 392 с
3. Ronco C. Hemodialysis: from basic research to clinical trials / Claudio Ronco, Dinna N.Cruz. // Karger Medical & Scientific Publishers. – 2008. – P. 277.
4. Rose B.D. Clinical physiology of acid-base and electrolyte disorders / B.D. Rose, T.W. // Medical Pub. Division. – New York.: McGraw-Hill, 2001.
5. Castellano S. Clinical, analytical and bioimpedance characteristics of persistently overhydrated haemodialysis

patients / Sandra Castellano, Inés Palomares, Manuel Molina and et. // *Nefrologia*. – 2014. – № 34(6). P. 716 – 723

6. Hyponatremia, hypernatremia, and mortality in patients with chronic kidney disease with and without congestive heart failure / C.P. Kovesdy, E.H. Lott, J.L. et al. // *Circulation*. – 2012. – № 125. – P. 677 – 684.

7. Spiegel D.M. Bioimpedance resistance ratios for the evaluation of dry weight in hemodialysis / D.M. Spiegel, K. Bashir, B. Fisch // *Clin Nephrol*. – 2000. № 53. – P. 108 – 114.

8. Биоимпедансний аналіз складу тіла людини / [Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г.]. – М.: Наука, 2009. – 392 с.

9. Gravimetric Method for in Vitro Calibration of Skin Hydration Measurements / O.G. Martinsen, G. Orjan S. Grimnes. – *Biomedical Eng., IEEE Trans.* – 2008. – P. 728 – 732.

10. Lindsay R.M. Online monitoring and feedback-control / R.M. Lindsay, D. Schneditz // *Replacement of renal function by dialysis*. – Kluwer. – 2004. – P. 555-584.

11. Jaffrin M.Y. Body fluid volumes measurements by impedance: A review of bioimpedance spectroscopy (BIS) and bioimpedance analysis (BIA) methods // M.Y. Jaffrin H. Morel. – *Med Eng Phys*. – 2008 Dec. – № 30(10). – P. 1257 - 1269.

12. Trevor Hastie. Generalized additive models for medical research / Trevor Hastie, Robert Tibshirani. – *Stat Methods Med Res*, 1995. pp. 187-196.

13. Статистика / Роберт А. Доннелли-мл. - М.: Астрель: АСТ, 2007. - XIV, 367.

14. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента/ Джонсон Н., Лион Ф. - М.: Мир, 1981. - 520 с.

15. Final Draft Post-Refereeing: Taroni F., Biedermann A., Bozza S. 2016, *Statistical hypothesis testing and common misinterpretations: Should we abandon p-value in forensic science applications?*, *Forensic Science Int.*, 259, e32-e36.

16. Hopkins W.G. *Progressive Statistics for Studies in Sports Medicine and Exercise Science* / Hopkins W.G., Marshall S.W., Batterham A.M., Hanin J. - Jan 2009, 41(1): - pp. 3-13. DOI:10.1249/MSS.0b013e31818cb278

17. Bioimpedance Monitoring of Dialysis Patients During Ultrafiltration. / Mosiychuk V.S., Timosenko G.V., Sharpan O.B., Tkachuk B.V., Tomashevskiy R.S. // *Conf. Proc., IEEE Elnano*. – April 19-21, 2016. – Kyiv. –pp. 236-239

18. Уточнение электрической схемы организма для биоимпедансометрии при ультрафильтрации эквивалентной / Б.В. Ткачук, Р.С. Томашевский, Е.И. Сокол, В.Н. Лесовой // *Вестник НТУ «ХПИ»*. – №46 (1155). – с. 56-62.

19. Актуальні проблеми автоматизації та приладобудування: матеріали всеукраїнської НТК / Є.І. Сокол (голова оргком.) – Х.: ТОВ «В справі», 2015. – 211 с.

Надійшла до редколегії 21.11.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СТАТИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕДУРОЙ УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПРОГРАММНОМ ГЕМОДИАЛИЗЕ

П.Ф. Шапов, Р.С. Томашевский, Б.В. Ткачук, В.Н. Павлюк

В статье предложена информационная технология статистического управления процедурой ультрафильтрации при программном гемодиализе на основе информации, полученной из сигналов биоимпедансометрии. В статье проведен анализ литературных источников, который показал острую необходимость разработки системы информационной поддержки процедуры гемодиализа или ее автоматизации. Несовершенство классических методов оценки уровня гидратации пациента не позволяет использовать их в качестве сигналов индикации состояния биологического объекта в режиме реального времени. Аналитический обзор показал, что наиболее подходящим сигналом, с помощью которого возможен мониторинг состояния пациента, является сигнал биоимпедансометрии. Целью работы была разработка информационной технологии мониторинга состояния пациента и статистического управления процедурой ультрафильтрации на основе сигналов биоимпедансометрии. Для анализа таких сигналов был выбран ковариационный анализ, так как он позволяет оценить глобальные и локальные тренды сигнала с учетом его нестационарности, а также оценить значимость изменения этих трендов. На основании классического ковариационного разложения в работе предложен модифицированный ковариационный метод анализа, который позволяет учитывать относительное изменение трендов биоимпедансных сигналов на нескольких частотах, и, тем самым, уменьшая сумму случайного остатка. Такой подход позволяет, увеличивая чувствительность метода к динамическим изменениям, получить дополнительный информативный параметр. Экспериментальные исследования на пациентах, находящихся на процедуре программного гемодиализа, показали эффективность предложенного метода. Адекватность полученных статистических решений полностью подтвердилась результатами контрольного исследования – измерения уровня гематокрита.

**Ключевые слова:** программный гемодиализ, ультрафильтрация, интерстициальная жидкость, биоимпедансометрия, модель Фрикке-Морзе, ковариационный анализ, оптимизация, средний риск, статистическое управление

## INFORMATION TECHNOLOGY OF STATISTICAL CONTROL OF ULTRAFILTRATION PROCEDURE DURING PROGRAM HEMODIALYSIS

P.F. Shapov, R.S. Tomashevskiy, B.V. Tkachuk, V.M. Pavlyuk

The information technology of statistical control of the procedure of ultrafiltration in program hemodialysis based on information obtained from bioimpedanceometry signals is proposed in the article. The analysis of the literature sources showed the urgent need to develop a system of informational support for the procedure of hemodialysis or its automation. Imperfection of the classical methods of assessing the level of hydration of the patient does not allow using them as signals indicating the state of the biological object in real time. The analytical review showed that the most suitable signal by which the patient's condition can be monitored is the bioimpedanceometry signal. The aim of the work was the development of information technology for monitoring the patient's condition and statistical management of the ultrafiltration procedure based on bioimpedanceometry signals. To analyze such signals, covariance analysis was chosen, since it allows estimating global and local signal trends taking into account its nonstationarity, as well as assessing the significance of changing these trends. In the work, based on the classical covariance decomposition, a modified covariance method of analysis was proposed. This method allows to take into account the relative change of bioimpedance signals trends at several frequencies, and, thereby, reducing the sum of the random remaining residue. This approach allows obtaining an additional informative parameter by increasing the sensitivity of the method to dynamic changes. Experimental studies on patients undergoing programmed hemodialysis showed the effectiveness of the proposed method. The adequacy of the statistical solutions obtained was fully confirmed by the results of a control study-measurement of the hematocrit level.

**Keywords:** program hemodialysis, ultrafiltration, interstitial fluid, bioimpedanceometry, Fricke-Morse model, covariance analysis, optimization, average risk, statistical control.

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 614.8

doi: 10.26906/SUNZ.2018.1.160

Г.В. Іванець, І.О. Толкунов, Є.І. Стецюк

Національний університет цивільного захисту України, Харків

## МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ НЕОБХІДНИХ КОШТІВ В РЕЗЕРВНОМУ ФОНДІ ДЕРЖАВНОГО БЮДЖЕТУ ДЛЯ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ ВІД НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

У статті запропонована модель прогнозування коштів, які необхідно передбачити в резервному фонді Державного бюджету, для ліквідації можливих наслідків від надзвичайних ситуацій.

**Ключові слова:** надзвичайна ситуація, цивільний захист, Державний бюджет, кошти, модель.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Для успішної боротьби з природними і техногенними катастрофами потрібна цілеспрямована державна політика та створення основного інструменту її реалізації – системи протидії надзвичайним ситуаціям (НС). На сучасному етапі основною метою державної політики у сфері цивільного захисту є забезпечення гарантованого рівня безпеки особистості, суспільства і держави в межах науково-обґрунтованих критеріїв прийнятого ризику. Реалізація державної політики у сфері цивільного захисту здійснюється на основі та через відповідні нормативно-правові акти, нормативні документи, виконання державних, регіональних, науково-технічних цільових програм, планів розвитку.

Забезпечення техногенної та екологічної безпеки, запобігання виникненню аварій і НС ситуацій техногенного та природного характеру, мінімізації їх наслідків є складовою створення безпечних умов життєдіяльності кожної особи і суспільства в цілому, а отже, невід'ємною частиною державної політики національної безпеки і відповідно одним з пріоритетних національних інтересів України. Значення набуває особливої актуальності в нинішніх складних умовах функціонування економіки України. В умовах складного економічного становища, яке склалося сьогодні в країні, вкрай необхідним є забезпечення належного функціонування системи захисту населення і територій від НС техногенного та природного характеру, для забезпечення мінімізації збитків від них для економіки.

Для здійснення непередбачених видатків, що не мають постійного характеру і не можуть бути передбачені при складанні проекту державного бюджету, бюджетне законодавство передбачає обов'язкове формування у Державному бюджеті України резервного фонду, який не може перевищувати 1% обсягу видатків загального фонду Державного бюджету. До непередбачуваних видатків, які можуть використовуватися з резервного фонду бюджету,

належать і заходи з ліквідації наслідків НС техногенного та природного характеру. Для формування резервного фонду необхідні науково-обґрунтовані пропозиції щодо закладання коштів на реалізацію заходів щодо ліквідації можливих НС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В більшості випадків кошти на ліквідацію можливих наслідків НС передбачаються на основі експертних оцінок [1,2], а також на основі методик прогнозу можливих затрат при ліквідації деяких видів НС природного характеру [3], в той же час можливість прогнозу затрат коштів для ліквідації НС в цілому на основі статистичних даних не достатньо досліджені.

**Мета статті** – розробити модель прогнозування необхідної кількості коштів, які необхідно передбачити в резервному фонді Державного бюджету, для ліквідації можливих наслідків НС.

### Постановка завдання та його вирішення

Загальні витрати коштів на ліквідацію наслідків НС є сумою витрат коштів на ліквідацію НС техногенного та природного характеру [4]:

$$ВТ = ВТ_{ТХ} + ВТ_{ПХ}, \quad (1)$$

де ВТ – загальні витрати коштів; ВТ<sub>ТХ</sub> – витрати коштів на ліквідацію НС техногенного характеру; ВТ<sub>ПХ</sub> – витрати коштів на ліквідацію НС природного характеру.

Для прикладу, на основі статистичних даних за 2007 – 2012 рр., оберемо модель для прогнозу необхідних коштів щодо ліквідації наслідків від можливих НС у 2013 році, а для перевірки адекватності запропонованої далі моделі порівняємо з дійсними значеннями. Динаміка зміни витрачених коштів для ліквідації НС природного характеру за 2007 – 2012 роки [5-11] представлена на рис. 1.

На основі статистичних даних обґрунтуємо вид моделі для прогнозування витрат коштів на ліквідацію НС природного характеру.

Аналіз даних (рис. 1) показує, що вибірку регресійну модель витрат коштів на ліквідацію НС природного характеру доцільно вибрати у вигляді степеневої функції вигляду:

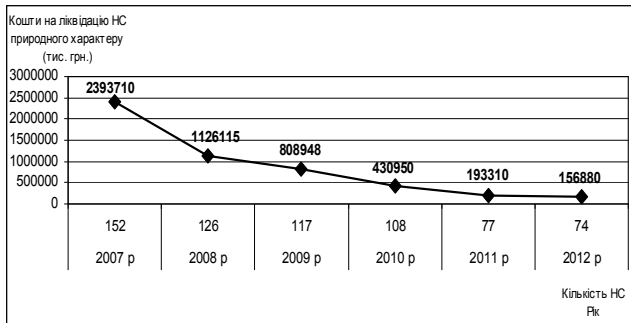


Рис. 1. Динаміка зміни витрачених коштів на ліквідацію НС природного характеру

$$VT_{ПХ}(t) = a \cdot [n_{ПХ}(t)]^{a_1}, \quad (2)$$

де  $VT_{ПХ}(t)$  – витрачені кошти на ліквідацію НС природного характеру;  $n_{ПХ}(t)$  – кількість НС природного характеру.

Після логарифмування функція набуває вигляду:

$$\ln VT_{ПХ}(t) = \ln a + a_1 \ln n_{ПХ}(t) \quad (3)$$

і після заміни  $\ln a = b_0$ ,  $a_1 = b_1$ ,  $\ln n_{ПХ}(t) = z(t)$  є лінійною відносно параметрів  $b_0, b_1$ , оцінки яких знаходяться за методом МНК.

Для перевірки адекватності моделі на основі статистичних даних за 2007-2012 роки зробимо прогноз витрачених коштів на ліквідацію НС природного характеру на 2013 рік. Прогнозне значення витрачених коштів на ліквідацію НС природного характеру обчислюється за формулою:

$$\ln VT_{прПХ} = b_0 + b_1 \cdot \ln n_{прПХ} = -3,9 + 3,7 \cdot \ln n_{прПХ} \quad (4)$$

$$\text{або } VT_{прПХ} = \exp(-3,9 + 3,7 \cdot \ln n_{прПХ}), \quad (5)$$

де  $VT_{прПХ}$  – прогноз витрат коштів на ліквідацію НС природного характеру;  $n_{прПХ}$  – прогнозна кількість НС природного характеру.

Прогнозування можливої кількості НС природного характеру  $n_{прПХ}$  здійснюється у відповідності з моделлю комплексного прогнозування НС природного характеру в цілому, за видами та рівнями на основі статистичних даних [12, 13].

Прогнозні значення витрачених коштів на ліквідацію НС природного характеру в 2013 році будуть становити в межах від 59504 до 67754 тис. грн. Реально для ліквідації наслідків НС природного характеру було витрачено 65021 тис. грн. Середня відносна похибка прогнозу складає близько 3%. Модель адекватна, коефіцієнт кореляція дорівнює 0,98.

Динаміка зміни витрачених коштів для ліквідації НС техногенного характеру за 2008 – 2012 роки

[5-11] представлена на рис. 2. Аналіз діаграми (рис. 2) показує деяку періодичну закономірність, яка спостерігається в динаміці зміни витрачених коштів на ліквідацію НС техногенного характеру.

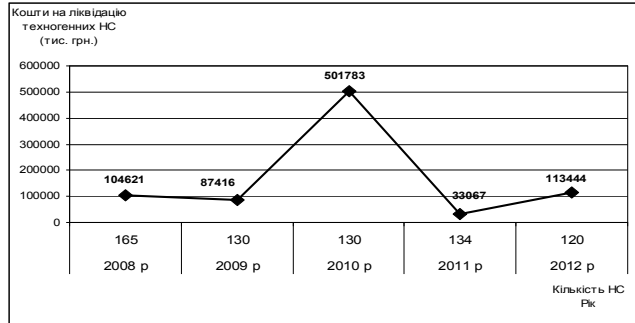


Рис. 2. Динаміка зміни витрачених коштів на ліквідацію НС техногенного характеру

З періодом приблизно 2 роки відбувається або зменшення витрачених коштів або їх збільшення не зважаючи чи на збільшення чи на зменшення кількості НС техногенного характеру. В [14-17] обґрунтовано, що в таких випадках доцільно використовувати регресійні моделі на основі методів аналізу часових рядів. Тому будемо використовувати регресійну модель витрат коштів на ліквідацію НС техногенного характеру такого вигляду:

$$VT_{ТХ}(t) = \beta_0 \beta_1^{1/n_{ТХ}(t)} \beta_2^{Q_1} \beta_3^{Q_2} \beta_4^{Q_3} t, \quad (6)$$

де  $VT_{ТХ}(t)$  – витрачені кошти на ліквідацію НС техногенного характеру;  $n_{ТХ}(t)$  – кількість НС техногенного характеру;  $Q_1, Q_2, Q_3$  – фіктивні змінні ( $Q_1 = 1$  – для 2008-2009 років, 0 для інших;  $Q_2 = 1$  – для 2010-2011 років, 0 для інших;  $Q_3 = 1$  для 2012 р.);  $\beta_0$  – зсув змінної  $VT_{ПХ}(t)$ ;  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$  – множники.

Після логарифмування моделі (6), одержуємо перетворену модель для апроксимації витрат коштів на ліквідацію НС техногенного характеру:

$$\ln VT_{ТХ}(t) = \ln \beta_0 + \ln \beta_1 / n_{ТХ}(t) + Q_1 \ln \beta_2 + Q_2 \ln \beta_3 + Q_3 \ln \beta_4, \quad (7)$$

і після заміни  $b_0 = \ln \beta_0, b_1 = \ln \beta_1, b_2 = \ln \beta_2, b_3 = \ln \beta_3, b_4 = \ln \beta_4$   $z(t) = 1/n_{ТХ}(t)$  є лінійною відносно параметрів  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$ , оцінки яких знаходяться за методом найменших квадратів (МНК).

Прогнозне значення витрат коштів на ліквідації НС техногенного характеру обчислюється так:

$$\ln VT_{прТХ} = b_0 + \frac{b_1}{n_{прТХ}} + b_4 = 10,8 + \frac{122}{n_{прТХ}} - 0,22 \quad (8)$$

$$\text{або } VT_{прТХ} = \exp(10,8 + 122/n_{прТХ} - 0,22), \quad (9)$$

де  $VT_{прТХ}$  – прогноз витрат коштів на ліквідацію НС техногенного характеру;  $n_{прТХ}$  – прогнозна кількість НС техногенного характеру. Прогнозування можливої кількості НС техногенного характеру

здійснюється у відповідності з моделлю прогнозування НС техногенного характеру в цілому, за видами та рівнями на основі статистичних даних [13, 18]. Прогнозні значення витрачених коштів на ліквідацію НС техногенного характеру в 2013 році будуть становити в межах від 184826 до 213128 тис. грн. Реально для ліквідації наслідків НС техногенного характеру було витрачено 201691,96 тис. грн. Середньостатистична відносна похибка прогнозу складає близько 2%. Модель адекватна, коефіцієнт кореляції дорівнює 0,983.

За статистичними даними кошти для ліквідації НС соціального характеру складають 0,3-0,8% від суми коштів для ліквідації НС природного і техногенного характеру (наприклад, в 2011 році загальні кошти на ліквідацію НС природного і техногенного характеру склали 226377 тис. грн., а кошти на ліквідацію НС соціального характеру 1512,133 тис. грн., або 0,7% від загальних коштів на ліквідацію НС природного і техногенного характеру), тому їх в подальшому можна не враховувати.

Загальні прогнозні витрати коштів для ліквідації наслідків НС у відповідності з виразом (1) є сумою витрат коштів на ліквідацію НС техногенного та природного характеру і будуть становити в межах від 244330-280882 тис. грн. Реально в Україні за 2013 рік витрачено коштів на ліквідацію НС 266713 тис. грн. Середньостатистична відносна похибка прогнозу складала близько 2,2%.

Модель прогнозування витрат коштів на ліквідацію можливих наслідків від НС зображена на рис. 3. Модель побудована за модульним принципом, коли модулі інформаційно зв'язані між собою, а кожний модуль виконує конкретні завдання. Модуль 1 уявляють собою базу даних про НС та витрати коштів на їх ліквідацію за деякий період моніторингу. На основі цих даних проводяться відповідні оцінки в модулях 2 та 3. Модуль 2 призначений для формування регресійної моделі витрат коштів на ліквідацію НС природного характеру (2) та оцінки її параметрів. Дані модуля 2 використовуються в подальшому для проведення розрахунків в модулі 4.

Модуль 3 призначений для формування регресійної моделі витрат коштів на ліквідацію НС техногенного характеру (6) та оцінки її параметрів. Дані модуля 3 використовуються в подальшому для проведення розрахунків в модулі 5. Модуль 4 призначений для прогнозування витрат коштів на ліквідацію НС природного характеру (5) на основі даних, які поступають від моделі комплексного прогнозування НС природного характеру в цілому, за видами та рівнями на основі статистичних даних в Україні та модуля 2. Дані модуля 4 використовуються в подальшому для проведення розрахунків в модулі 6. Модуль 5 призначений для прогнозування витрат коштів на ліквідацію НС техногенного характеру (9) на основі даних, які поступають від моделі прогнозування НС техногенного характеру в цілому, за видами та рівнями на основі статистичних даних в Україні та модуля 3.

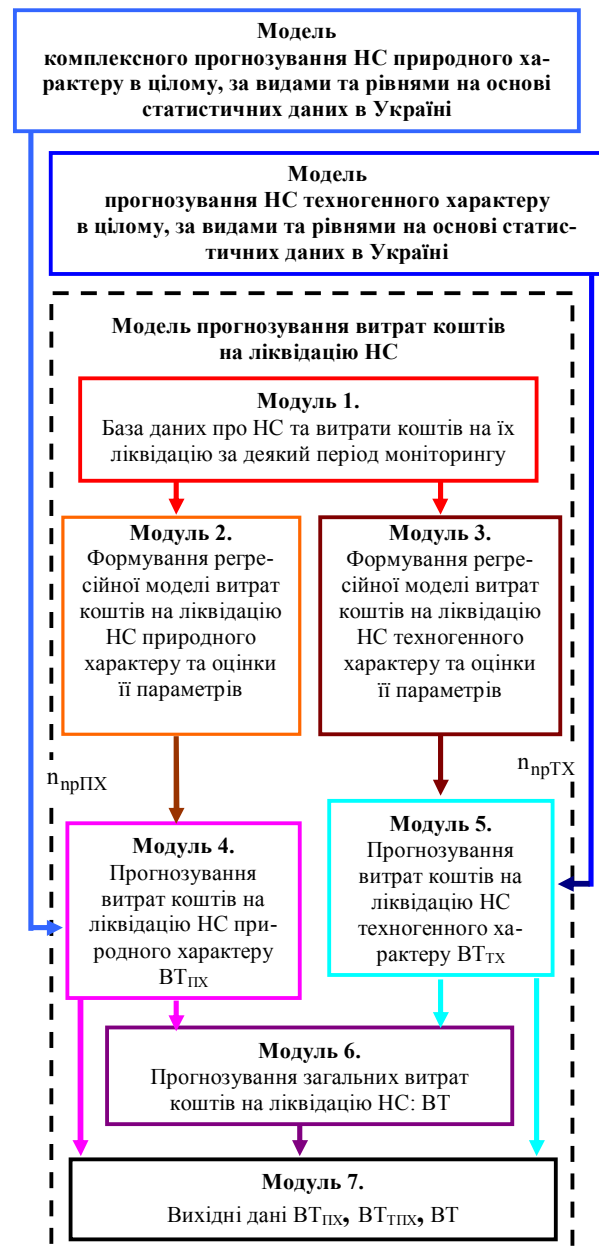


Рис. 3. Модель прогнозування витрат коштів на ліквідацію НС

Дані модуля 5 використовуються в подальшому для проведення розрахунків в модулі 6.

Модуль 6 призначений для прогнозування загальних витрат коштів на ліквідацію НС (1) на основі даних, які поступають від модулів 4 та 5.

Вихідними даними (модуль 7) є прогнозні дані витрат коштів для ліквідації НС природного, техногенного характеру та в цілому.

Таким чином, запропонована модель прогнозування коштів для фінансування ліквідації наслідків НС природного, техногенного характеру і в цілому за рахунок резервного фонду Державного бюджету уявляє собою сукупність об'єднаних в єдине ціле логічно та інформаційно ув'язаних між собою за призначенням, вирішувемими задачами, вхідними і вихідними даними та іншими параметрами модулі, кожний з яких вирішує конкретні завдання.

## Висновки

1. Запропоновано модель прогнозування коштів для фінансування ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій природного, техногенного характеру і в цілому за рахунок резервного фонду Державного бюджету.

Вона побудована за модульним принципом і об'єднує в єдине ціле логічно та інформаційно ув'язані між собою за призначенням, вирішувемими задачами, вхідними і вихідними даними та іншими параметрами модулі, кожний з яких вирішує конкретні завдання.

2. На основі проведених досліджень встановлено, що для прогнозу необхідних коштів для ліквідації НС природного характеру, які необхідно передбачити в резервному фонді Державного бюджету, можна застосовувати регресійну модель у вигляді степеневі функції, а для прогнозу необхідних коштів для ліквідації НС техногенного характеру доцільно скористатися методом аналізу часових рядів. При цьому середня абсолютна похибка прогнозу коштів для ліквідації наслідків НС природного характеру складає близько 3%, а для НС техногенного характеру близько 2%. Загальні витрати для ліквідації наслідків НС є сумою витрат на ліквідацію НС техногенного та природного характеру. Середня абсолютна похибка прогнозу складає близько 2,2%.

## Список літератури

1. Соколов Ю.Н. Динамические процессы в экологических системах / Ю.Н. Соколов. – О.: ТЕС, 2012. – 119 с.
2. Jеnoptik [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.jenoptik.com>.
3. Болотских М.В. Научные основы эффективного предупреждения и борьбы с чрезвычайными ситуациями и стихийными бедствиями / М.В. Болотских, М.В. Орешкин, П.В. Шелихов, Е.П. Луганцев – Луганск: ЛНАУ, 2004. – 34 с.
4. Иванец Г.В., Стецюк Є.І. Передбачення необхідних коштів в резервному фонді Державного бюджету для фінансування ліквідації наслідків від надзвичайних ситуацій природного характеру. / Державне управління у сфері цивільного захисту: наука, освіта, практика: матеріали Всеукраїнської НПК, 28-29 квітня 2016р. / за заг.ред. В.П. Садкового. – Х.: НУЦЗУ, 2016. – С. 226-228.

5. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році. МНС України. Київ, 2007. – 236 с.
6. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2007 році. МНС України. Київ, 2008. – 226 с.
7. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році. МНС України. Київ, 2009. – 244 с.
8. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2009 році. МНС України. Київ, 2010. – 252 с.
9. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році. МНС України. Київ, 2011. – 214 с.
10. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році. УНДІ ЦЗ ДСНС України. Київ, 2012. – 359 с.
11. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2012 році. УНДІ ЦЗ ДСНС України. Київ, 2013. – 384 с.
12. Иванец Г.В. Алгоритм прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру в цілому, за видами та рівнями, можливих завданних збитків внаслідок них. / Системи обробки інформації/ – Х.: ХУПС, 2016. Вип. 8(145). – С. 175-179.
13. Иванец Г.В., Андронов В.А., Поспелов Б.Б., Толкунов И.О., Иванец М.Г. Системная модель прогнозирования и обеспечения ликвидации чрезвычайных ситуаций с учетом потенциальных рисков угроз. System model for forecasting and provision elimination of emergency situations with accounting potential risks of threat. / East journal of security studies. Collection of scientific papers. – Kharkiv, Slupsk, 2017. Vol. 1/1. – С. 174-187.
14. Джонсон Дж. Эконометрические методы. – М.: Статистика, 1980. – 444 с.
15. Гранберг А.Г. Статистическое моделирование и прогнозирование. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 378 с.
16. Грубер Й. Эконометрия: Вступ до множинної регресії та економетрії: У 2 т. – К.: Нічлава, 1988 – 198 с.
17. Эконометрия. Навчальний посібник. / О.Л. Ліщинський, В.В. Рязанцева, О.О. Юнькова. – К.: МАУП, 2003. – 208 с.
18. Иванец Г.В., Бугайов А.Ю. Прогнозування надзвичайних ситуацій техногенного характеру на основі статистичних даних моніторингу. / Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: НУЦЗУ, 2016. Вип. 23. – С. 39-45.

Надійшла до редколегії 22.12.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.І. Адаменко, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків.

## МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕОБХОДИМЫХ СРЕДСТВ В РЕЗЕРВНОМ ФОНДЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТА ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Г.В. Иванец, И.А. Толкунов, Е.И. Стецюк

В статье предложена модель прогнозирования средств, которые необходимо предвидеть в резервном фонде Государственного бюджета, для ликвидации возможных последствий от чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, гражданская защита, Государственный бюджет, модель.

## MODEL OF FORECASTING THE NECESSARY FUNDS IN THE RESERVE FUND OF THE STATE BUDGET FOR THE LIQUIDATION OF THE CONSEQUENCES OF EMERGENCY SITUATIONS

G.V. Ivanets, I.A. Tolkunov, E.I. Stetsyuk

The article proposes a model for forecasting the funds that are to be foreseen in the reserve fund of the State Budget, to eliminate the possible consequences from emergency situations.

**Keywords:** emergency situation, civil protection, State budget, model.



Н.В. Караєва

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ

## МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ТА ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ОЦІНКИ РИЗИКУ ЗДОРОВ'Ю НАСЕЛЕННЯ ПРИ НЕСПРИЯТЛИВОМУ ВПЛИВІ ФАКТОРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Доведено необхідність вдосконалення нормативно-методичного забезпечення оцінки ризику здоров'ю населення при несприятливому впливі факторів навколишнього середовища як базової умови функціонування ефективного механізму управління екологічною безпекою України. Визначено, що в базовій схемі оцінки ризику здоров'ю найбільш дискусійним є питання, щодо використання тих чи інших моделей оцінки залежності "доза-відгук", зокрема: лінійної моделі; лінійно-експоненціальної моделі; порогової моделі та моделі індивідуальних порогів дії. Досліджено світовий та вітчизняний досвід їх використання в залежності від типу задач та програмні засоби їх розрахунку.

**Ключові слова:** екологічна безпека, ризик здоров'ю, потенційний ризик, оцінка залежності "доза-відгук".

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасна теорія ризику як механізм управління екологічною безпекою базується на трьох взаємопов'язаних складових елементах:

- 1) системі аналізу та оцінці ризику;
- 2) системі управління ризиком;
- 3) системі інформування про ризик.

Метою аналізу й оцінки всіх видів ризику, як правило, є виявлення та ідентифікація джерел техногенно-екологічної небезпеки з установленням зв'язків між ними, а також оцінка можливого впливу зазначених джерел на характер та розміри збитку, який може бути заподіяно населенню, навколишньому середовищу, господарським й іншим об'єктам. Аналіз ризику надає основу для визначення ступеня і характеристики техногенно-екологічного ризику.

Система управління екологічним ризиком передбачає впровадження найбільш ефективних заходів щодо мінімізації ризиків економічних, екологічних та соціальних втрат об'єктів різного народногосподарського рівня і всього суспільства в цілому, обумовлених погіршенням якості навколишнього природного середовища [1, с. 86].

Інформування про ризик – це процес розповсюдження результатів визначення ступеня ризику для здоров'я людини і рішень щодо його контролю [2].

Специфікою процедури аналізу ризику для здоров'я населення, обумовлених погіршенням якості навколишнього середовища є реалізація етапу оцінки залежності "доза-ефект" (відношення "доза-відгук"), тобто ймовірностей прояву небажаних для здоров'я ефектів при визначених рівнях впливу забруднювачів. Оцінка ймовірностей прояву небажаних для здоров'я реальних чи потенційних ефектів в результаті забруднення навколишнього природного середовища є досить складним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Концепція оцінки ризику для здоров'я населення

практично у всіх країнах світу і міжнародних організаціях розглядається як головний механізм розробки та прийняття управлінських рішень на всіх рівнях ієрархії щодо забезпечення екологічної безпеки як детермінанти сталого розвитку. В роботі [3] наведено перелік міжнародних інформаційних баз даних, що використовуються при оцінці ризику для здоров'я населення, зокрема: база токсикологічних даних Канадського центру з професійної безпеки і здоров'я (CCOHS) [4], електронна колекція карт безпеки Вермонтського університету (Vermont SIRI MSDS Collection) [5], необхідна інформація з токсичної дії інгредієнтів Національного інституту США з професійної безпеки і здоров'я (NIOSH homepage) [6], інформаційна система Міністерства енергетики США (Risk Assessment Information System (RAIS)) [7] та ін. Крім того, інформаційно-моделююча система MEPAS застосовується в США та інших країнах світу у галузі промислової та екологічної безпеки при плануванні раціональних дій та заходів щодо профілактики та відновлення стану навколишнього середовища та зменшення негативного впливу на здоров'я людей [8]. Загалом, як показано нами у попередній роботі [9], в міжнародній практиці використовується значна кількість комп'ютерних систем і програмних засобів в різнопланових задачах екологічної безпеки, але лише деякі з них призначені для оцінки і моделювання ризику для здоров'я населення.

В Україні ухвалено низку нормативно-правових актів, які зобов'язують наглядові органи оцінювати за рівнем ризику прийнятність і надмірну небезпеку видів діяльності, пов'язаних з можливими аварійними ситуаціями, що мають несприятливі наслідки для здоров'я населення і навколишнього середовища. Це, зокрема, Закон України "Про об'єкти підвищеної небезпеки" [10] та постанова Кабінету Міністрів України "Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єкти підвищеної небезпеки" [11]. З метою виконання Закон України "Про об'єкти підвищеної небез-



пеки" Міністерство праці і соціальної політики розробило Методику визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки [12]. Але в Методиці не наведено математичних моделей і методів розрахунку ризиків, що ускладнює її використання на практиці.

В 2019 році в Україні розроблено зміни та доповнення до ДБН А.2.2-1-2003 щодо оцінки ризику впливу планованої діяльності на навколишнє середовище [13], де представлена методика оцінки впливу промислової діяльності на здоров'я населення та рівня соціального ризику при забрудненні лише атмосферного повітря. Цей нормативний документ містить спрощений варіант розрахунку ризику розвитку канцерогенних та неканцерогенних ефектів, що наведено в Методичних рекомендації (МР 2.2.12-142-2007) "Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря" [14]. Саме тому, в Україні для проведення експертних процедур оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) використовується окрема утиліта "Показник ризику" [15] ліцензованого програмного продукту "ЕОЛ 2000[h]", що дає змогу здійснити оцінку ризиків запланованої діяльності та соціальних ризиків лише за фактором атмосферного повітря.

Слід зазначити, що основою розробки МР 2.2.12-142-2007 слугували підходи Американського Агентства з охорони навколишнього середовища (United States Environmental Protection Agency – EPA US) [16] і Росії [17, 18], в яких широко представлені методологічні основи оцінки реального ризику здоров'я населення, пов'язаного з хімічним забрудненням основних компонентів навколишнього середовища.

Закордонний досвід оцінки потенціального ризику здоров'я населення в результаті хімічного забруднення різних компонентів навколишнього середовища наведено в роботах [19-21].

Вищенаведена проблематика реалізації концепції оцінки ризику для здоров'я населення в Україні як механізму управління екологічною безпекою зумовлює актуальність дослідження.

**Мета роботи** – на основі аналізу міжнародного досвіду розробити методологічні основи оцінки ризику здоров'ю населення при несприятливому впливі факторів навколишнього середовища.

## Виклад основного матеріалу

Згідно МР 2.2.12-142-2007 повна, або базова, схема оцінки ризику здоров'ю передбачає проведення чотирьох взаємопов'язаних етапів: 1) ідентифікацію небезпеки; 2) оцінку експозиції; 3) характеристику небезпеки (оцінку залежності "доза-відгук"); 4) характеристику ризику.

Головним завданням першого етапу є відбір пріоритетних, індикаторних хімічних речовин, вивчення яких дозволить з достатньою точністю охарактеризувати рівні ризику порушення стану здоров'я населення та джерела його виникнення. В результаті здійснення першого етапу оцінки ризику повинні

бути отримані відповіді на питання: які фактори, що присутні в навколишньому середовищі досліджуваного району, можуть викликати несприятливі для здоров'я ефекти; який несприятливий вплив можуть надати ці чинники; яка нова інформація необхідна для судження про небезпеку цих факторів.

Оцінка експозиції передбачає визначення шляху розповсюдження у навколишньому середовищі і впливу на організм забруднюючої сполуки, вивчення її концентрацій, установлення терміну дії і загальної тривалості впливу, оцінки чисельності популяції, яка знаходиться або вірогідно може знаходитись під впливом шкідливого чинника. Для того щоб оцінити вплив шкідливих чинників на здоров'я людини потрібна інформація про взаємодію між ними, тобто визначення зв'язку між експозицією шкідливим фактором і ефектом на здоров'я, який може проявлятися іноді і не відразу, а через значний час.

Найбільші дискусії виникають при реалізації третього етапу – оцінки залежності "доза-відгук". На цьому етапі встановлюються або прогнозуються зв'язки між дозою або концентрацією шкідливого фактору і відносним числом індивідуумів з кількісно визначеним проявом несприятливого для здоров'я ефекту. Результати дослідження робіт [20, 22, 23] свідчать, що в залежності від типу задач в світовій практиці використовують чотири основних математичних моделей оцінки залежності "доза-відгук".

1. Лінійна модель має вигляд:

$$\text{Risk} = \text{UR} \cdot \text{C} \cdot \text{t},$$

де Risk – ризик виникнення несприятливого ефекту, який визначається як імовірність виникнення цього ефекту при заданих умовах; C – реальна концентрація (або доза) речовини, що надає вплив за час t; UR – одиниця ризику, що визначається як фактор пропорції зростання ризику в залежності від величини діючої концентрації (дозы). Як правило визначається експертними методами при статистичному аналізі експериментального або медико-статистичного матеріалу, отриманого різними авторами в порівнянних ситуаціях.

2. Лінійно-експоненціальна модель має вигляд:

$$\text{Risk} = 1 - \exp(-\text{UR} \cdot \text{C} \cdot \text{t}).$$

3. Порогова модель передбачає наявність порогу, нижче якого фактор практично не діє [20]:

$$\text{Risk} = \text{H}(\text{C} - \text{C}_n),$$

де H – функція Гевісайда (H(x)=0 при x<0 і H(x)=1 при x>0); C – концентрація впливу; C<sub>n</sub> – порогова концентрація.

4. Модель індивідуальних порогів дії (нормально-імовірнісний розподіл частоти ефектів, пробіт-аналіз) застосовується для визначення гострої токсичності хімічних речовин [20]:

$$\text{Risk} = (1 / \sqrt{2\pi}) \cdot \int_{-\infty}^{(a+b \cdot \lg(C))} e^{-t^2/2} \cdot dt,$$

де C – концентрація впливу; a і b – емпіричні коефіцієнти. Ця модель використовується, головним чином, при розрахунку потенційного ризику негайних неканцерогенних ефектів.

Використання тих чи інших моделей оцінки залежить, в першу чергу, який вид ризику здоров'ю ми розраховуємо – реальний чи потенційний. Також оцінка залежності "доза-відгук" принципово відрізняється для канцерогенів і неканцерогенів. Так, на думку російських науковців [23] для оцінки канцерогенного ризику застосовується лінійна безпорогова модель, яка використовує величини потенціалів канцерогенного ризику, які є індивідуальною характеристикою кожної речовини. Для розрахунку ризику неканцерогенних хронічних ефектів доцільно використовувати експоненціальну безпорогову модель, що дає оцінку ймовірності збільшення первинної захворюваності популяції у відповідь на тривалий вплив неканцерогена.

Вітчизняне нормативно-методичне забезпечення спрямовано на розрахунок лише реального ризику розвитку канцерогенних та неканцерогенних ефектів з використанням лінійних моделей оцінки залежності "доза-відгук". У загальному визначені реальний ризик це кількісне вираження шкоди суспільному здоров'ю, пов'язаної із забрудненням навколишнього середовища, у величинах додаткових випадків захворювань, смерті та ін. Звичайно, використовується при оцінці існуючих ситуацій чи ретроспективних досліджень. Так, наприклад, у відповідності МР 2.2.12-142-2007 розрахунок індивідуального канцерогенного ризику (CR) від забруднення атмосферного повітря здійснюють за формулою:

$$CR = SF \cdot LADD,$$

де CR – ймовірність занедужати раком, безвимірна величина (звичайно виражається в одиницях 1:1000000); SF – фактор нахилу, тобто ймовірність одержання ракового захворювання у випадку прийому одиничної дози LADD (Lifetime Average Daily Dose), (1/мг/(кг × доба), ((мг/(кг × доба)<sup>-1</sup>); LADD – середня добова доза протягом життя, мг/(кг × доба).

Розрахунок популяційного річного ризику (PCRa) від забруднення атмосферного повітря здійснюють за формулою:

$$PCRa = \sum (C_i \cdot UR_i) \cdot POP / 70,$$

де  $C_i$  – середня річна концентрація  $i$ -тої речовини; POP – чисельність популяції, що зазнає впливу (чол.);  $UR_i$  – одиничний ризик протягом життя (70 років).

Для характеристики ризику розвитку неканцерогенних ефектів передбачається визначення коефіцієнту небезпеки для окремих забруднюючих речовин ( $HQ_i$ ) і розрахунку індексу небезпеки за формулою:

$$HI = \sum HQ_i.$$

В той же час, в Інструкції 2.1.6.11-9-29-2004 Міністерства охорони здоров'я республіки Білорусь "Оцінка ризику для здоров'я населення від впливу хімічних речовин, що забруднюють атмосферне повітря" [21] при відносно високих рівнях впливу канцерогену (скринінговий рівень ризику більш 0,01) розрахунок потенційного канцерогенного ризику пропонується здійснюється за експоненціальною моделлю:

$$CR = 1 - \exp(-SF_i \cdot LADD).$$

На відміну від вітчизняного підходу для оцінки ризику розвитку неканцерогенних ефектів, крім вищезазначених показників, що характеризують рівень реального ризику, в російській практиці здійснюється розрахунок потенційного ризику [19, 20, 23]. В республіки Білорусь оцінка потенційного ризику негайної (рефлекторного) дії та тривалого (хронічного) впливу регламентована Інструкцією 2.1.6.11-9-29-2004 [21]. Впроваджена у вітчизняну практику методика розрахунку потенційного ризику розвитку неканцерогенних ефектів успішно може бути використана для медико-екологічної оцінки якості навколишнього середовища, в тому числі і для перспективних цілей. У 2005 році про актуальність і переваги застосування методики оцінки потенційного ризику здоров'ю населення України вітчизняні науковці відмічали в роботі [24]. На думку авторів методика дозволяє рангувати рівні забруднення за кількома ступенями – від припустимої (чи прийнятної) до надзвичайно небезпечної. Як ефект оцінюється не ризик появи додаткових випадків захворювань, а ймовірність рефлекторних реакцій (відчуття роздратування, неприємного запаху тощо) чи ефектів психологічного дискомфорту, що також розцінюється як факт порушення здоров'я [24, с.162]. У загальному визначені потенційний ризик це ризик виникнення несприятливого для людини ефекту, що визначається як можливість виникнення цього ефекту при заданих умовах. Виділяють три типи потенційного ризику:

1) ризик негайних ефектів, що проявляються безпосередньо в момент впливу (неприємні запахи, роздратовуючі ефекти, різноманітні фізіологічні реакції, загострення хронічних захворювань та ін., а при значних концентраціях – гострі отруєння);

2) ризик тривалого (хронічного) впливу, що проявляється при накопиченні достатньої для цього дози, у рості неспецифічної патології, зниженні імунного статусу і т.п.;

3) ризик специфічної дії, що проявляється у виникненні специфічних захворювань чи канцерогенних, ембріотоксичних та інших подібних ефектів.

Оцінки залежності "доза-відгук" в задачах розрахунку потенційного ризику для здоров'я населення заснована на логарифмічній залежності від рівнів впливу забруднюючих речовин і дозволяє адекватно інтегрувати їх. Наведемо основні розрахункові модулі потенційного ризику, що обчислюється окремо залежно від якості атмосферного повітря, питної води, водних об'єктів, ґрунту, продуктів харчування та рівня шуму (опис модулів цитуються за [19, 21, 24, 25]). В результаті забруднення атмосферного повітря ризик прояву негайних токсичних ефектів оцінюється для чотирьох класів небезпеки забруднюючих речовин у пробітах (Prob) за формулами [19]:

$$1 \text{ клас Prob} = -9,15 + 11,66 \cdot \lg(C / \text{ГДК м.р}),$$

$$2 \text{ клас Prob} = -5,51 + 7,49 \cdot \lg(C / \text{ГДК м.р}),$$

$$3 \text{ клас Prob} = -2,35 + 3,73 \cdot \lg(C / \text{ГДК м.р}),$$

$$4 \text{ клас Prob} = -1,41 + 2,33 \cdot \lg(C / \text{ГДК м.р}),$$

де  $C$  – концентрація забруднюючої речовини; ГДК м.р. – максимальні разові ГДК. Відповідність "пробітів" і ймовірності ефекту (Risk) пов'язані табличним інтегралом [21, 25]:

$$\text{Risk} = (1/\sqrt{2\pi}) \int_{-\infty}^{\text{Prob}} e^{t/2} dt .$$

Для практичного перетворення Prob в Risk можна використовувати спеціальну таблицю або вбудовані функції спеціалізованих пакетів програм. Так, наприклад, загальновідомий табличний процесор Excel, який є складовою частиною продуктів серії Microsoft Office, для цієї мети пропонує вбудовану функцію нормального імовірнісного розподілу.

Оцінка потенційного ризику здоров'ю населення при хронічному впливі забруднення атмосфери розраховується за експоненціальною моделлю [21]:

$$\text{Risk} = 1 - \exp(\ln(0,84) \cdot (C/\text{ГДК}_{\text{сд}})^b / K_3),$$

де  $C$  – концентрація речовини, що робить вплив за заданий період часу; ГДК<sub>сд</sub> – середньодобова гранично допустима концентрація;  $K_3$  – коефіцієнт запасу (значення змінюються в залежності від класу небезпеки речовини: 1-й клас – 7,5; 2-й клас – 6,0; 3-й клас – 4,5; 4-й клас – 3);  $b$  – коефіцієнт, що дозволяє оцінювати ізофективні ефекти домішок різних класів небезпеки: 1-й клас – 2,35; 2-й клас – 1,28; 3-й клас – 1,0 і 4-й клас – 0,87.

Оцінка потенційного ризику здоров'ю населення в залежності від якості питної води визначається окремо за органолептичними, епідеміологічними і токсикологічними показниками якості води. Ризик за водневим показником визначається за формулами:

$$\text{Prob} = 4 - \text{pH} \quad \text{при} \quad \text{pH} \leq 7,$$

$$\text{Prob} = -11 - \text{pH} \quad \text{при} \quad \text{pH} > 7.$$

Ризик за іншими показниками, нормованим за їхнім впливом на органолептичні якості води, визначається з використанням рівняння Prob-аналізу:

$$\text{Prob} = -2 + 3,32 \cdot \lg(C/\text{ГДК}).$$

Потенційний ризик токсикологічної небезпеки питної води визначається за експоненціальною моделлю:

$$\text{Risk} = 1 - \exp((\ln(\text{OSF})/C.\text{lit}) \cdot \text{LADD}),$$

де  $C.\text{lit}$  – порогові концентрації, пов'язані з максимальними недіючими ГДК (для речовин, регламентованих за токсикологічною ознакою) рівнянням:

$$C.\text{lit} = \text{ГДК} \cdot K_3,$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу, що приймається рівним 100 у речовин з вираженою імовірністю віддалених наслідків і 10 для інших речовин; LADD – середня щоденна концентрація (чи доза) речовини, що надходить в організм людини з питною водою на протязі її життя та обчислюється за формулою:

$$\text{LADD} = \text{CW} \cdot \text{IR} \cdot \text{EF} \cdot (\text{ED}/\text{BW}) \cdot \text{AT},$$

де  $\text{CW}$  – концентрація у воді (мг/л);  $\text{IR}$  – рівень споживання (л/добу);  $\text{EF}$  – частка експозиції (днів/рік);  $\text{ED}$  – тривалість експозиції (років);  $\text{BW}$  – вага тіла (кг);  $\text{AT}$  – час усереднення (період, за який

усереднюється експозиція). Ризик за показником забарвленості визначається відповідно до рівняння:

$$\text{Prob} = -3,33 + 0,067(\text{Ц} - \Phi_{\text{он}} + 20),$$

де  $\Phi_{\text{он}}$  – природна забарвленість води, отримана за даними багаторічних спостережень і характерна для даного сезону;  $\text{Ц}$  – забарвленість води (у градусах забарвленості).

При оцінці ризику за показником природного запаху і присмаку води використовується формула:

$$\text{Prob} = -1 + 3,32 \cdot \lg(\text{Бали}/2,5).$$

Ризик за іншими показниками, нормованим відповідно до їхнього впливу на органолептичні властивості води, визначається на основі рівняння:

$$\text{Prob} = -2 + 3,32 \cdot \lg(C/\text{ГДК}),$$

де  $C$  – концентрація речовини у водному об'єкті; ГДК – норматив для водних об'єктів рекреаційного водокористування. Потенційний ризик здоров'ю населення в залежності від якості ґрунту обчислюється за лінійно-експоненціальною моделлю:

$$\text{Risk} = 1 - \exp(-\text{UR} \times \text{LADD}),$$

де  $\text{UR}$  – одиниця ризику, визначається як чинник пропорції росту ризику в залежності від значення діючої концентрації (дозы) речовини; LADD – середня щоденна доза речовини (мг/кг-добу),

$$\text{LADD} = \text{CS} \cdot \text{IR} \cdot \text{CF} \cdot \text{FI} \cdot \text{EF} \cdot (\text{ED}/\text{BW}) \cdot \text{AT},$$

де  $\text{CS}$  – концентрація речовини в воді (мг/кг);  $\text{IR}$  – рівень споживання (мг ґрунту/добу – 200 мг/добу для дітей 1-6 років та 100 мг/день для дорослих);  $\text{CF}$  – коефіцієнт(10-6 кг/мг);  $\text{FI}$  – частка речовини, що проникає через шкіру;  $\text{EF}$  – частка експозиції (днів/рік);  $\text{ED}$  – тривалість експозиції (років);  $\text{BW}$  – вага тіла (кг);  $\text{AT}$  – час усереднення (період, за який усереднюється експозиція).

Потенційний ризик здоров'ю населення в залежності від якості продуктів розраховується як

$$\text{Risk} = 1 - \exp(-\text{UR} \times \text{LADD}),$$

де  $\text{UR}$  – одиниця ризику, визначається як чинник пропорції росту ризику в залежності від визначення діючої концентрації (дозы) речовини; LADD (мг/кг-добу) обчислюється за формулою:

$$\text{LADD} = \text{CF} \times \text{IR} / \text{BW} \times \text{AT},$$

де  $\text{CF}$  – концентрація шкідливої речовини в їжі (мг/кг);  $\text{IR}$  – рівень споживання (кг сирової ваги в добу);  $\text{BW}$  – вага тіла (кг).

Потенційний ризик неспецифічних ефектів при постійному впливі шуму обчислюється як

$$\text{Prob} = -4,5551 + 0,0853 \cdot \ell_{\text{екв}},$$

де  $\ell_{\text{екв}}$  – еквівалентний рівень шуму в дБ (А).

Ризик розвитку специфічної приглухуватості при постійному впливі шуму розраховується як

$$\text{Prob} = -6,771 + 0,0704 \cdot \ell_{\text{екв}}.$$

При короточасному впливі шуму до вищеведених рівнянь потрібно поправку. У тому випадку, коли період впливу менше, зі значення  $\ell_{\text{екв}}$  виключають виправлення на час дії протягом доби  $L_1$ , що обчислюється за формулою:

$$L_1 = 10 \cdot \lg(24/T_1),$$

де  $T_1$  – середній час дії шуму протягом доби.

На етапі характеристики ризику проводиться оцінка комбінованої чи комплексної дії негативних чинників. Під комбінованою дією розуміється вплив декількох домішок, що надходять через один з компонентів навколишнього середовища (повітря, вода і т.д.). Комплексна дія – це вплив однієї чи декількох домішок, оцінюване через кілька факторів навколишнього середовища (повітря, вода чи ін.).

Для оцінки комбінованої та комплексної дії використовують два підходи:

1) при комбінованої дії декількох домішок, що володіють ефектом сумачії, використовують метод розрахунку приведеної концентрації ( $C_{пр}$ ):

$$C_{пр} = C_1 + C_2 \cdot \frac{ГДК_1}{ГДК_2} + \dots + C_n \cdot \frac{ГДК_1}{ГДК_n},$$

де  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – концентрації 1-ої, 2-ої, ..., n-ої домішок,  $ГДК_1, \dots, ГДК_n$  – відповідно їх нормативи;

2) метод оцінки за правилом множення імовірностей, де як множник виступають не величини ризику здоров'ю, а значення, що характеризують імовірність його відсутності:

$$Risk_{сум} = 1 - (1-Risk_1)(1-Risk_2)(1-Risk_3)\dots(1-Risk_n),$$

де  $Risk_{сум}$  – потенційний ризик комбінованого чи комплексного впливу домішок;  $Risk_1, \dots, Risk_n$  – потенційний ризик впливу кожної окремої домішки.

За даними [20] комбінований ризик появи несприятливих для здоров'я ефектів, розрахований за першим і другим підходами, дають абсолютно ідентичні результати.

При трактування отриманих величин потенційного ризику здоров'ю населення користуються ранговою шкалою, яку наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Залежність ваги ефектів від величини ризику здоров'ю населення

Вага ефектів	Risk
Рівні мінімального ризику	<0,1
Граничні хронічні ефекти	0,1 – 0,19
Важкі хронічні ефекти	0,2 – 0,59
Важкі гості ефекти	0,6 – 0,89
Смертельні ефекти	0,9 – 1,0

## Висновки

1. Проблемність функціонування ефективного механізму управління екологічною безпекою України лежить у площині недосконаленого нормативно-методичного забезпечення оцінки екологічного ризику, зокрема, ризику здоров'ю населення при несприятливому впливі факторів навколишнього середовища.

2. Основними недоліками нормативно-методичного забезпечення є такі: відсутність математичних моделей розрахунку ризиків у Методиці визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки; в ДБН А.2.2-1-2003 і МР 2.2.12-142-2007 наведені методики оцінки впливу промислової діяльності на

здоров'я населення та рівня соціального ризику лише при забрудненні атмосферного повітря. Крім того, вітчизняні методики спрямовані на оцінку лише реального канцерогенного і неканцерогенного ризику, при цьому в міжнародній практиці широко використовуються методики розрахунку потенційного ризику розвитку неканцерогенних ефектів.

3. Вищенаведені недоліки нормативно-методичного забезпечення унеможливають розробку і впровадження вітчизняних програмних засобів, призначених для всебічної оцінки і моделювання ризику для здоров'я населення при несприятливому впливі факторів навколишнього середовища. З метою реалізації аналітичного блоку системи в роботі наведено основні розрахункові модулі потенційного ризику, що обчислюється залежно від якості атмосферного повітря, питної води, водних об'єктів, ґрунту, продуктів харчування та рівня шуму.

4. Визначено, що в базовій схемі оцінки ризику здоров'ю найбільш дискусійним є питання, щодо використання тих чи інших моделей оцінки залежності "доза-відгук". В залежності від типу задач в у міжнародній і вітчизняній практиці використовують чотири основних моделей оцінки залежності "доза-відгук": 1) лінійна модель; 2) лінійно-експоненціальна модель; 3) порогова модель; 4) модель індивідуальних порогів дії. Використання тих чи інших моделей оцінки залежить, в першу чергу, який вид ризику здоров'ю ми розраховуємо – реальний чи потенційний. Також оцінка залежності "доза-відгук" принципово відрізняється для канцерогенів і неканцерогенів.

## Список літератури

1. Жарова Л.В. Макроекономічне регулювання природоохоронної діяльності : монографія / Л. В. Жарова. – Суми : Університетська книга, 2012 – 296 с.
2. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря / МР 2.2.12-142-2007. – Київ : МОЗ України, 2007. – 40 с.
3. Березуцький В.В. Небезпечні виробничі ризики та надійність / В.В. Березуцький, М.І. Адаменко – Харків : ФОП Панов А.М., 2016. – 385 с.
4. Canadian Centre for Occupational Health and Safety: Comprehensive, Practical occupational health and safety information on chemicals [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ccohs.ca/products/databases/cheminfo.html>.
5. Vermont Safety Information Resources, Inc.: Chemical toxicity data: [Електронний ресурс]. – 2011. – Режим доступу : <http://hazard.com/msds/> (Вермонтський університет (Vermont SIRI MSDS Collection). Електронна колекція карт безпеки. <http://hazard.com/msds/index.html>).
6. NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health: International chemical safety cards (ICSC): [Електронний ресурс]. – 2011. – Режим доступу : <http://www.cdc.gov/niosh/ipcs/icstart.html>.
7. United States Environmental Protection Agency: region 3 risk assessment: [Електронний ресурс]. – 2011. – Режим доступу : <http://www.epa.gov>.
8. Попов О.О. Інформаційні системи для вирішення задач комплексного радіоекологічного моніторингу АЕС / О.О. Попов, А.В. Яцишин // Моделювання та інформаційні технології. – 2014. – Вип. 72. – С. 3-16.

9. Караєва Н. В. Характеристика можливостей комп'ютерних систем і програмних засобів для економіко-екологічного аналізу господарської діяльності [Електронний ресурс] / Н. В. Караєва // Глобальні та національні проблеми економіки. – Грудень 2017. – № 14. – Режим доступу : <http://global-national.in.ua/issue-14-2016>.

10. Закон України "Про об'єкти підвищеної небезпеки" від 18.01. 2001 р., № 2245-III [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2245-14>.

11. Постанова Кабінету Міністрів України від 11 липня 2002 р. № 956 "Про ідентифікацію та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки" / Кабінет Міністрів України [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/956-2002-%D0%BF>.

12. Наказ Міністерства праці та соціальної політики України від 04.12. 2002 р. № 637 "Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятих рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки" [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://ua-info.biz/legal/basene/ua-cmelgt/index.htm>.

13. ДБНА. 2.2-1-2003. Зміна № 1. Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд : Наказ Мінрегіонбуду України від 20.11.2009 р. № 524 та введені в дію 01.07.2010 р. — К. : ДП «Укрархбудінформ» Мінрегіонбуд, 2010. — 10 с.

14. Методичні рекомендації МР 2.2.12-142-2007. Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря. Затв. Наказом МОЗ України від 13.04.07 № 184. – Київ, 2007. – 40 с.

15. Перелік програмних продуктів в галузі охорони атмосферного повітря [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.menr.gov.ua/protection/protection3/regulation/255-perelik-prohramnykh-produktiv-v-haluzi-okhorony-atmosfernohopovitria>.

16. Integrated Risk Information System (IRIS) : [Електронний ресурс] / U. S. Environmental Protection Agency (EPA). – Режим доступу : <https://www.epa.gov/iris>.

17. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г.Онищенко, С.М.Новиков, Ю.А. Рахманин и др./ Под ред. Ю.А. Рахманина, Г.Г.Онищенко. – М., 2002. – 408 с.

18. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду/ Ю.А. Рахманин, С.М. Новиков, Т.А. Шашина и др. – М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004.–143с.

19. Киселев А.В. Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практике управления качеством окружающей среды: методич. пособие / А.В. Киселев, К.Б. Фридман. – СПб.: Межд. институт оценки риска здоровью, 1997. – 100 с.

20. Киселев А.В. Оценка потенциального риска здоровью в системе гигиенического мониторинга при оценке качества окружающей среды [Электронный ресурс] – Режим доступа : [https://uzmzcege.by/\\_files/news/risky.doc](https://uzmzcege.by/_files/news/risky.doc).

21. Инструкция 2.1.6.11–9–29–2004 [Электронный ресурс] / Министерства здравоохранения республики Беларусь "Оценка риска для здоровья населения от воздействия химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух" – Режим доступа : <http://med.by/methods/pdf/2.1.6.11-9-29-2004.pdf>.

22. Moghissi A.A., Narland R.E., Congel F.J. Eckerman K.F. Methodology for environmental human exposure and health risk assessment // Dyn.Exposure and Hazard Assessment Toxic chem. Ann Arbor.,Michigan, USA, 1980, p. 471- 489.

23. Трифонова Т.А. Оценка и сравнительный анализ рисков для здоровья населения (на примере г. Владимир) / Трифонова Т.А., Ширкин Л.А. – Владимир: ВООО ВОИ ПУ «Рост», 2010. – 80 с.

24. Гриценко А.В. Оцінка потенційного ризику здоров'ю населення України при несприятливому впливі факторів навколишнього середовища / А.В. Гриценко, О.В. Рибалова, Л.Ю. Ляченко // Коштовне господарство міст. – Київ : Техніка, 2005. – Вып.63. Сер. Техн. науки. – С. 161 – 171.

25. Методические рекомендации МР 2.1.4.0032-11. Интегральная оценка питьевой воды централизованных систем водоснабжения по показателям химической безвредности: Методические рекомендации. – М. : ФБУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Роспотребнадзора, 2011. – 37 с.

Надійшла до редколегії 1.12.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.І. Запорожець, Національний авіаційний університет, Київ.

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ОЦЕНКИ РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ НЕБЛАГОПРИЯТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Н.В. Караева

Доказана необходимость совершенствования нормативно-методического обеспечения оценки риска здоровью населения при неблагоприятном воздействии факторов окружающей среды как базового условия функционирования эффективного механизма управления экологической безопасностью Украины. Определено, что в базовой схеме оценки риска здоровью наиболее дискуссионным является вопрос относительно использования тех или иных моделей оценки зависимости "доза-отклик", в частности: линейной модели; линейно-экспоненциальной модели; пороговой модели и модели индивидуальных порогов действия. Исследован мировой и отечественный опыт использования в зависимости от типа задач и программные средства их расчета.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, риск здоровью, потенциальный риск, оценка зависимости «доза-ответ».

## METHODOLOGICAL ASPECTS AND SOFTWARE TOOLS OF POPULATION HEALTH RISK ASSESSMENT UNDER NON-COMPREHENSIVE INFLUENCE OF FACTORS OF THE ENVIRONMENT

N.V. Karaieva

The need to improve the regulatory and methodological support for risk-assessing to the health of the population with adverse effects of environmental factors as a basic condition for the functioning of an effective mechanism for managing environmental safety of Ukraine is proved. The most controversial topic in the basic scheme of health risk assessment is the use of certain models of dose-response relationship evaluation, in particular: linear model; linear-exponential model; threshold model and a model of individual action thresholds are determined. World and domestic experiences of their use, depending on the type of problems and the software tools of their calculation were investigated.

**Keywords:** environmental safety, health risk, potential risk, assessment of "dose-response" dependency.

Д.В. Резнік, О.П. Чорний, Ю.В. Зачепа, В.В. Ченчевой, А.О. Богодист, О.О. Вовк

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук  
Державна установа «Національний НДІ промислової безпеки та охорони праці», Київ*

## ЕКРАНУВАННЯ ЯК ЗАСІБ НОРМАЛІЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ РОБОЧОГО СЕРЕДОВИЩА

*Виконано аналіз впливу електромагнітних полів промислової частоти на здоров'я людини. Експериментально встановлені фактичні рівні електромагнітних полів асинхронних двигунів у виробничих умовах. Розглянуті організаційні заходи та технічні засоби у вигляді захисних екранів з нормалізації електромагнітної обстановки у робочій зоні виробничих приміщень. Встановлено, що застосування захисних екранів дозволяє зменшити більше ніж на 40 % рівень індукції магнітного поля у робочій зоні. На основі регресійного аналізу отримана математична модель залежності індукції магнітного поля асинхронного двигуна, застосування якої на етапі проектування технічних засобів захисту дозволяє оцінити їх ефективність щодо забезпечення допустимої електромагнітної обстановки на робочому місці з урахуванням характеристик встановленого електротехнічного обладнання та технологічно можливих у виробничих умовах місць встановлення захисних конструкцій.*

**Ключові слова:** індукція електромагнітного поля, асинхронний двигун, екранування.

### Вступ

Сучасне виробництво важко уявити без використання електротехнічного обладнання (ЕТО). Але саме це обладнання є джерелом електромагнітного поля промислової частоти (ЕМП ПЧ). На сьогодні відсутнє чітке визначення рівня безпечного рівня ЕМП ПЧ [1]. У різних країнах світу граничні норми різні і залежать здебільшого від рівня розвитку промисловості [2]. В [3, 4] зазначено, що люди, які знаходяться тривалий час в зоні підвищеного ЕМП ПЧ з індукцією  $B > 0,2$  мкТл отримують додатковий тепловий вплив. Крім того, в залежності від частоти поля клітини людини перетворюються на провідники, що призводить до зміни структури крові; впливу на ендокринну систему та обміну речовин. Як наслідок у людини виникають нервові й серцево-судинні розлади, підвищується рівень стомлюваності, спостерігаються розлад сну, зміна кров'яного тиску, уповільнення пульсу, болю в ділянці серця, аритмії тощо.

Тому одним із пріоритетних напрямків розвитку виробництва з позиції охорони праці є використання екологічно «чистих» матеріалів та технологій. Так, сьогодні під час конструювання електричних машин (ЕМ) застосовують сучасні композитні матеріали, що дозволяють суттєво знизити рівень ЕМП ПЧ. Однак масштаби застосування такого ЕТО та значна вартість композитних матеріалів не дозволяють повністю оновити виробництво.

В системі охорони праці запропоновано ряд заходів спрямованих на зниження рівня електромагнітного випромінювання. Одним з найбільш розповсюджених та дієвих є віддаленість робочих зон від джерел ЕМП ПЧ та їх екранування [5]. Ефективність

останнього заходу залежить від багатьох факторів – конструкції та матеріалів, з яких виготовлено екран, місця розташування тощо.

**Мета роботи** – дослідження ефективності застосування екранування джерел ЕМП ПЧ для зниження їх негативного впливу на здоров'я людини.

### Результати досліджень

Одними із головних джерел ЕМП ПЧ є лінії електропередач, трансформатори, ЕМ тощо. Вплив їх ЕМП на здоров'я людини досить широко висвітлено в науковій літературі (табл. 1). Слід відмітити, що в більшості досліджень ЕМ як потужні джерела ЕМП ПЧ не розглядалися, так як згідно [19] їх відносять до першої категорії безпечного ЕТО, рівень ЕМП яких знаходиться в допустимих межах. При цьому ЕМ застосовуються у всіх галузях промисловості, на транспорті, у сільському господарстві та побуті [20]. Наразі ЕМ саме змінного струму займають до 80 % від загальної сукупності промислових електродвигунів, з них лівова частина – це асинхронні двигуни (АД).

Визначення рівнів ЕМП та зон його максимального поширення проводилися для АД середньої потужності у виробничих умовах.

На рис. 1 наведені експериментальні залежності зміни індукції магнітного поля (ІМП) від відстані до АД. З рисунку видно, що безпосередньо біля корпусу АД, в залежності від його потужності, рівень ІМП вимірюється сотнями мкТл. Однак зі збільшенням відстані до АД рівень ІМП знижується. Так, вже на відстані 0,2...0,4 м – рівень ІМП не перевищує 10 мкТл, а на відстані 2 м – ІМП не перевищує природного фону в  $B = 0,2$  мкТл. Аналогічні результати були отримані в роботах [19, 21, 22].

Вплив ЕМП ПЧ на здоров'я людини

Рівень ІМП В, мкТл	Наслідки для здоров'я	Країна / роки дослідження	Публікації	Примітки (розрахунковий СІ та фактичний ОР ризику)
>0,3 мкТл	Дитяча лейкемія	США, Європа / 1962–2010	[6]	СІ 1,06...1,61%; ОР 1,31%
>0,4 мкТл	Лейкемія, пухлини центральної нервової системи і злоякісної лімфоми у дітей до 15 років	Данія / 1968–2003	[7]	СІ 0,77...3,46%; ОР 1,63%;
>1 мкТ	Деменція, зниження моторики нейронів, розсіяний склероз, епілепсія, хвороба Паркінсона	Данія / 1982–2010	[8]	СІ 0,93...3,43%; ОР 1,78%
>1,4 мкТ	Зміни в ДНК, зміни в складі крові	Італія	[9]	Дослідження зміни крові у електроварювальників (робота в 4 зміни по 10 годин)
0,4 нТ... 5 мкТ	Рак молочної залози, легенів, товстої кишки, карциноми клітинної лінії	США	[10]	Зміна клітин та ризик ракових захворювань (опроміненні магнітним полем)
0,2...10 мкТ	Бічний аміотрофічний склероз	Нідерланди / 1986–2003	[11]	СІ 1,05...3,55%; ОР 1,93%
0,5...10 мкТ	Хвороба Альцгеймера, старече слабоумство	Швейцарія / 2000–2005	[12]	СІ 1,21...3,33%; ОР 2,0%;
0,25...0,7 мкТ	Порушення розвитку плоду у вагітних, ризик передчасних пологів	США	[13]	СІ 1,42...5,19%; ОР 2,72%;
>0,16 мкТ	Зниження активності та якості сперматозоїдів	Китай	[14]	
0,17...3 мкТ	Первинні ракові захворювання, вторинні види раку, а також ішемічні захворювання	Італія / 1954–2003	[15]	Дослідження захворювань населення, яке мешкає поблизу ліній електропередач
>28,3 мкТ	Порушення фази сну, скорочення активної фази сну, зміна серцевого ритму	США	[16]	
0,05...0,5 мкТ	Синдром електромагнітної гіперчутливості (симптоматика): неврологічні розлади, головний біль, швидка стомлюваність, втрата пам'яті, порушення сну і роботи серця, зниження імунологічної реактивності, схильність до алергічних захворювань	Швеція	[17], [18]	

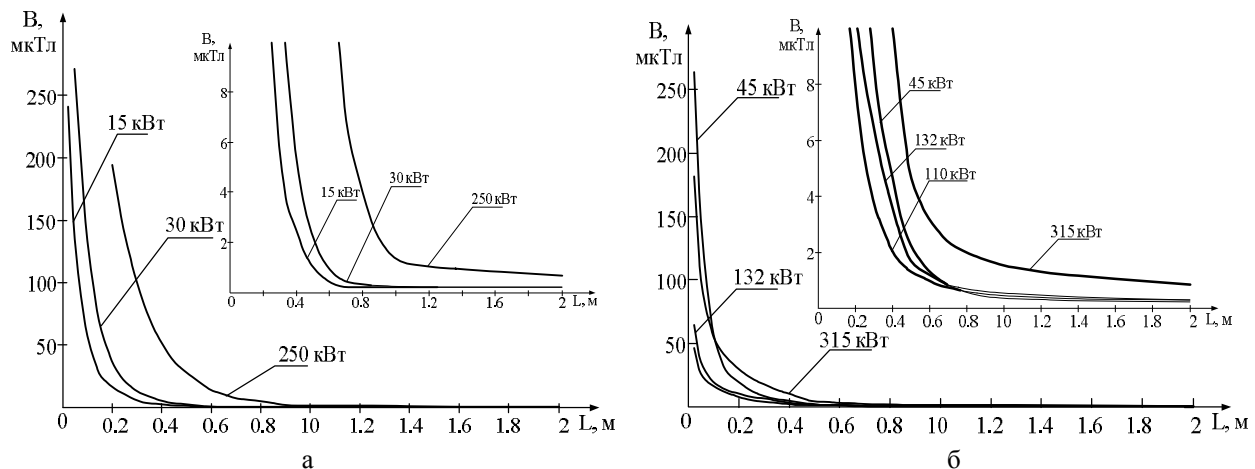


Рис. 1. Залежність зміни ІМП від відстані до АД з частотою напруги живлення: а) 50 Гц, б) 40 Гц

Аналізуючи отримані результати, можна відмітити, що на рівень ІМП має вплив потужність двигуна та частота напруги живлення. Безпечна відстань для працівників знаходиться в діапазоні від 0,7 м для АД потужністю 15 кВт та понад 2 м для двигунів потужністю 250 кВт і більше.

Таким чином, враховуючи рівні ІМП досліджуваних АД та дані табл. 1, можна стверджувати, що ЕМ являються також потужними джерелами ЕМП ПЧ, які потребують додаткових заходів та технічних засобів для нормалізації електромагнітної обстановки в робочій зоні виробничого приміщення.

Як вже було зазначено вище, крім віддалення ЕМ на безпечну відстань від робочої зони, що в реальних умовах виробництва здебільшого неможливо, дієвим засобом нормалізації електромагнітної обстановки є екранування розповсюдження ЕМП.

Найбільш поширеними у виробничих умовах екранами є суцільні захисні поверхні з феромагнітного матеріалу, зокрема, електротехнічної сталі. Однак згідно [23], довільне розташування такого екрану біля джерела низькочастотного ЕМП може не тільки знижувати напруженість магнітного поля, а й підвищувати її. Суцільний екран знижує рівні



ІМП з частотами до 50 Гц, але підвищує напруженість магнітного поля з частотами до 100 Гц. Крім того застосування таких екранів не завжди зручно через брак вільного місця біля ЕМ, необхідність контролю режимів її роботи тощо. Для ефективного екранування поширення ЕМП ПЧ необхідно врахувати як конструктивні та геометричні характеристики такого екрана, так і місце його встановлення.

З [24] відомо, що власне магнітне поле феромагнітного екрану, що перебуває у зовнішньому магнітному полі, обумовлене вихровими електричними струмами, які циркулюють у феромагнітному матеріалі. Тому для зменшення рівнів ІМП АД було використано магнітні екрани у вигляді сіток з різними розмірами вічок, що, по-перше, дозволяє мінімізувати вихрові струми у матеріалі екранів, а, по-друге, встановлювати такі екрани безпосередньо біля ЕМ і не створювати незручностей для обслуговуючого персоналу в процесі експлуатації.

Конструктивні характеристики досліджуваних екранів та їх коефіцієнти екранування  $K_E$  наведено в табл. 2. Коефіцієнт екранування  $K_E$  розрахований згідно формули вигляду

$$K_E = 20 \lg(B_0 / B_1), \quad (1)$$

де  $B_0$ ,  $B_1$  – значення ІМП без екрану та з екраном відповідно.

Під час експериментів екрани мали однаковий розмір 0,75x1 м і були встановлені на відстані 0,15 м від АД, а заміри значень ІМП здійснювалися в центрі кожного з екранів.

Залежність значень ІМП АД від типу екрану та режиму роботи наведено на рис. 2, де характеристики позначені відповідно: 1 – без екрану; 2 – з екраном із металевої ізолюваної сітки, 50 × 50 мм; 3 – з екраном із металевої ізолюваної сітки, 25 × 25 мм; 4 – з екраном із металевої неізолюваної заземленої сітки, 25 × 25 мм; 5 – з екраном із металевої неізолюваної заземленої сітки, 12,5 × 12,5 мм; 6 – з екраном із металевої неізолюваної заземленої сітки, 6 × 6 мм.

Таблиця 2

Коефіцієнт екранування різних типів екрану

Тип екрану, розмір вічка	$K_E$ для відповідного режиму роботи АД	
	неробочий хід	Під навантаженням
ізолювана металева сітка, 50x50 мм	5,582	5,249
ізолювана металева сітка, 25x25 мм	6,179	5,977
заземлена неізолювана металева сітка, 25x25 мм	6,533	5,319
заземлена неізолювана металева сітка, 12,5x12,5 мм	8,66	7,446
заземлена неізолювана металева сітка, 6x6 мм	8,836	7,662

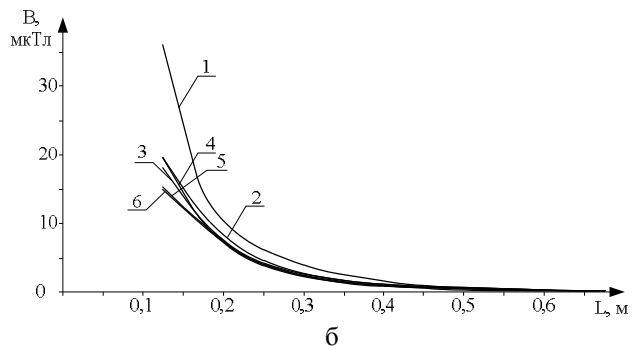
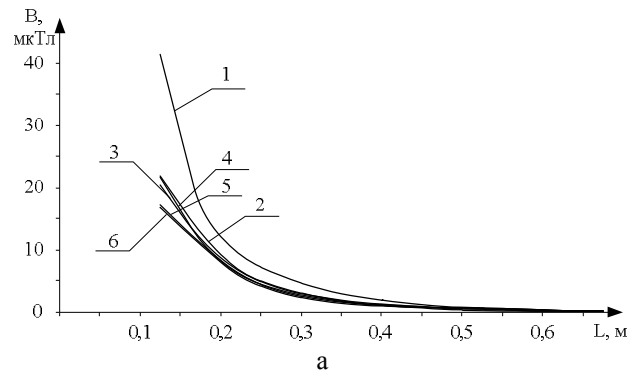


Рис. 2. Залежність зміни ІМП після встановлення екрану для режимів: а – неробочий хід, б – під навантаженням

Для аналізу отриманих результатів та з метою мінімізації досліджень в роботі була використана методика математичного планування експерименту за схемою ротатбельного центрального композиційного планування (РЦКП), в основі якої лежить регресійний аналіз, що включає метод найменших квадратів та статистичну обробку даних. Це дозволяє побудувати математичну модель з однаковою точністю, що передбачає значення відгуку в точках рівновіддалених від центру плану і з найбільшою точністю в точках, розташованих у його околиці. В якості критерію оптимізації прийнято величину ІМП. У результаті математична модель досліджуваного процесу описується поліномом вигляду:

$$y(x_1, \dots, x_k) = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i,j=1, i \neq j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i,j,u=1, i \neq j \neq u}^k b_{iju} x_i x_j x_u + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (2)$$

де  $b_0$  – вільний член;  $b_i$  – лінійні ефекти;  $b_{ij}$  – ефекти парної взаємодії;  $b_{ii}$  – квадратичні ефекти;  $b_{iju}$  – ефекти потрійної взаємодії.

Пошук залежності між факторами проводився з використанням методів і процедур регресійного аналізу. Оскільки при проведенні експерименту в кожному конкретному досліді була можливість задавати будь-яке значення для факторів, тому їх можна віднести до групи контрольованих і керованих. Таким чином можна стверджувати, що величина  $B$  явля-



ється відгуком, тобто залежать від контрольованих керованих факторів при випадковій їх зміні.

Математична обробка отриманих даних дозволила встановити спільний вплив потужності АД (P), відстань до нього (L) і коефіцієнта екранування (K<sub>E</sub>) на величину ІМП (B). Для отримання поліноміальної моделі було застосовано трифакторне ротатбельне планування другого порядку. Функцією відгуку було обрано величину B ІМП. Фактори у кодованому і натуральному вигляді й інтервали їх варіювання зведено до табл. 3.

Таблиця 3

Рівні й інтервали варіацій факторів дослідження

Рівні варіювання факторів	Найменування фактора		
	Потужність двигуна	Відстань	Коефіцієнт екранування
	P, кВт	L, м	K <sub>E</sub>
Нижня «зіркова точка», x <sub>i</sub> = -1,68	1,3	0,15	5,00
Нижній рівень, x <sub>i</sub> = -1	7,12	0,24	5,61
Основний рівень, x <sub>i</sub> = 0	15,66	0,38	6,50
Верхній рівень, x <sub>i</sub> = +1	24,20	0,51	7,39
Верхня «зіркова точка» №, x <sub>i</sub> = +1,68	30,02	0,60	8,00
Інтервал варіювання	8,54	0,13	0,89

При проведенні факторного експерименту, згідно з вимогами ротатбельного планування, у матрицю включалися чотири змінні на двох рівнях (вісім точок), шість «зіркових точок» з координатами ±1,68179; 0; 0 й одна точка в центрі експерименту (табл. 4). У матриці планування основний рівень позначений як «0», нижній рівень – знаком «-1», верхній рівень – знаком «+1».

Таблиця 4

Матриця планування експерименту

№ п/п	P	L	K <sub>E</sub>	P, кВт	L, м	K <sub>E</sub> , Дб	B, мкГл
1	0	0	0	15,66	0,38	6,5	0,37
2	0	-1,68	0	15,66	0,15	6,5	7,94
3	+1	+1	-1	24,20	0,51	5,61	0,96
4	-1	+1	-1	7,12	0,51	5,61	0,16
5	+1	-1	-1	24,20	0,24	5,61	9,22
6	0	0	-1,68	15,66	0,38	5,00	6,63
7	-1	-1	+1	7,12	0,24	7,39	0,51
8	-1,68	0	0	1,30	0,38	6,50	1,84
9	0	+1,68	0	15,66	0,60	6,50	0,2
10	0	0	+1,68	15,66	0,38	8,00	1,15
11	-1	+1	+1	7,12	0,51	7,39	0,15
12	-1	-1	-1	7,12	0,24	5,61	6,08
13	0	0	0	15,66	0,38	6,50	1,37
14	+1	+1	+1	24,20	0,51	7,39	1,78
15	+1	-1	+1	24,20	0,24	7,39	2,43
16	+1,68	0	0	30,00	0,38	6,50	4,29

Загальна кількість дослідів склала:

$$N = 2^k + 2k + k_0 = 16, \quad (3)$$

де k = 3 – кількість факторів; 2<sup>k</sup> = 8 – повний факторний експеримент (ядро плану), представлений у рядках 1–8 матриці планування; 2k = 6 – «зіркові точки», представлені в рядках 9–14 матриці планування (величина «зіркового плеча» α = 1,68); k<sub>0</sub> = 2 – досліди в центрі плану, представлені в рядках 15 і 16 матриці планування.

Математична обробка результатів експерименту проводилася з використанням персонального комп'ютера з відповідним програмним забезпеченням, що дозволило автоматизувати процедури розрахунку коефіцієнтів рівнянь регресії; величин усіх вихідних параметрів рівнянь регресії при заданих значеннях факторів; значень факторів, при яких забезпечуються максимальні значення полінома апроксимації в області варіювання факторів; оцінки значущості коефіцієнтів рівнянь регресії за критерієм Ст'юдента; перевірки адекватності отриманої моделі за критерієм Фішера (F); побудови поверхонь відгуку при попарній зміні двох факторів і фіксуванні інших на заданому рівні.

У результаті математичної обробки результатів експерименту отримали рівняння регресії вигляду

$$B = 99,61 + 0,16P - 141,451L - 20,3K_E + 0,007P^2 - 0,395PL - 0,023PK_E + 48,789L^2 + 14,79LK_E + 1,036K_E^2. \quad (4)$$

При перевірці на адекватність в отриману математичну модель послідовно включали незначущі, але близькі до межі значущості, коефіцієнти рівняння регресії з максимальною абсолютною величиною. Зазначені коефіцієнти залишали в рівнянні, якщо розрахункове значення критерію Фішера зменшувалося, в іншому випадку такі коефіцієнти виключали з рівняння.

Адекватність рівняння перевіряли шляхом розрахунку і порівняння дисперсій. Встановлено, що адекватність отриманої моделі за критерієм Фішера при 95% рівні значимості склала F = 1,84 і не перевищує табличного значення F<sub>0,95</sub> = 3,6. Перевірка статичної значущості факторів проводилася за допомогою стандартизованої карти Парето (рис. 3).

Отримана математична модель є адекватною. Коефіцієнти, що стоять перед факторами, говорять про значимість вхідних параметрів та вплив їх на досліджувані величини, а також їх парну взаємодію факторів на вихідну величину. Коефіцієнт детермінації для B становить R<sup>2</sup> = 0,959.

Аналіз отриманого рівняння вигляду (4) з урахуванням карти Парето (рис. 3) дозволило кількісно оцінити вплив варіювання кожного з досліджуваних факторів на величину ІМП.

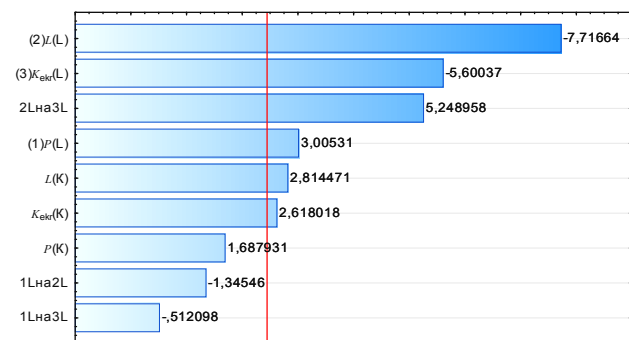


Рис. 3. Карта Парето регресійної моделі

Перетин стандартизованих ефектів вертикальною лінією, яка представляє собою 95%-ву довірчу ймовірність, означає, що вплив факторів на функцію відгуку статично значимо. Вплив факторів за ступе-

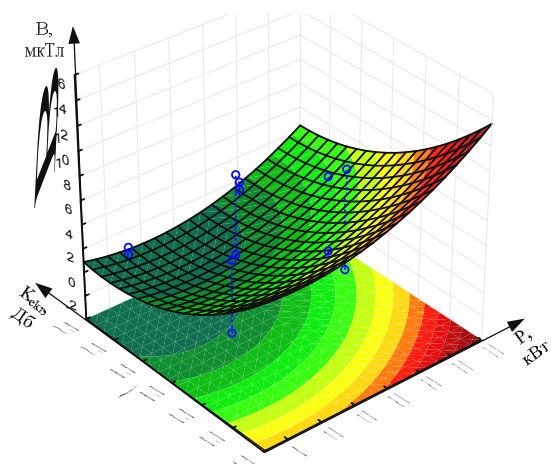


Рис. 4. Залежність величини ІМП від коефіцієнта екранування і потужності АД

З рис. 4 і 5 видно, що зменшення ІМП досягається при збільшенні коефіцієнта екранування  $K_E$  та відстані  $L$  до АД. При цьому чим менша потужність двигуна, тим менші рівні ІМП для аналогічних видів екранів та відстані до АД.

## Висновки

Проведені експериментальні дослідження розповсюдження електромагнітного поля навколо асинхронних двигунів. Отримана математична залежність значень індукції магнітного поля від потужності, відстані до двигунів і коефіцієнта екранування. Сформульовані рекомендації щодо застосування захисних екранів у вигляді металевої сітки для зменшення рівня електромагнітного поля у робочій зоні виробничого приміщення. Встановлення захисних екранів дозволяє не тільки зменшити на 40 % рівень індукції магнітного поля у робочій зоні, а й унеможливило доторкання працівників до рухомих і струмопровідних частин двигунів.

Отримана математична модель дозволяє на етапі проектування технічних засобів захисту провести аналітичну оцінку їх ефективності щодо забезпечення

незначущості розподілилося в наступному порядку: найбільший ефект на рівень магнітної індукції має відстань  $L$ , причому знак «мінус» на карті Парето вказує на зниження магнітної індукції при збільшенні фактору. Також істотно впливає квадратичне значення  $L^2$ , коефіцієнт екранування  $K_E$  і потужність  $P$ , які подолали граничний (95%) рівень значущості.

Наглядне представлення про вплив вхідних факторів на вихідну величину і їх взаємодію на функцію відгуку дають графічні залежності, побудовані за отриманою математичною моделлю вигляду (4).

Поверхні відгуку, що відображають вплив найбільш значимих факторів та дозволяють оцінити не тільки вплив окремого фактору на вихідну величину, а й їх парну взаємодію, згідно отриманої моделі вигляду (4), представлено на рис. 4 і 5.

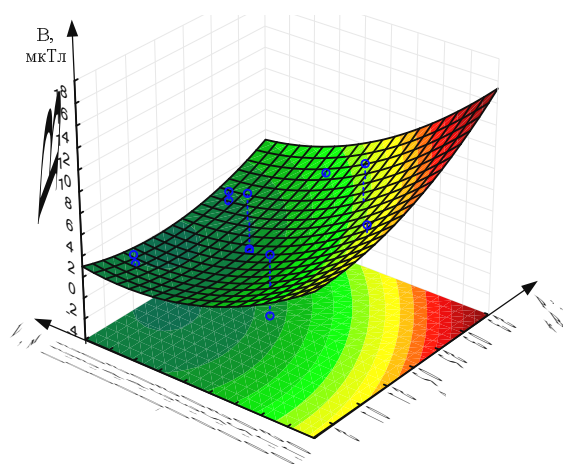


Рис. 5. Визначення допустимого рівня ІМП

допустимої електромагнітної обстановки на робочому місці з урахуванням характеристик встановленого електротехнічного обладнання та технологічно можливих у виробничих умовах місць встановлення захисних конструкцій.

## Список літератури

1. Халмурадов Б.Д. Проблеми узгодженості нормативної бази з електромагнітної сумісності та електромагнітної безпеки / Б.Д. Халмурадов, Л.О. Левченко, В.А. Глива, Т.М. Перельот // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України – 2015 - № 4 – С. 103 – 106.
2. Перельот Т.М. Моніторинг та нормалізація рівнів низькочастотних електромагнітних полів у виробничих умовах: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01/ Перельот Тетяна Миколаївна. – К., 2017 – 145 с.
3. Березуцький В.В. Основи охорони праці / В.В. Березуцький, Т.С. Бондаренко, Г.Г. Валенко; Х.: Факт, 2007. – 480 с.
4. Карнаух Н.Н. Охрана труда / Н.Н. Карнаух; М.: Издательство Юрайт, 2014. – 380 с.
5. Резинкина М.М. Использование численных расчётов для выбора средств экранирования от действия магнитных полей / М.М. Резинкина // Журнал технической физики – 2007 – Т.77 – № 11. – С. 17 – 24.
6. Zhao L. Magnetic fields exposure and childhood leukemia risk: a meta-analysis based on 11,699 cases and

13,194 controls. *epidem. / L. Zhao, X. Liu, C. Wang, et al.; Leuk Res – 2014 – № 38 (3) – Pp. 269-274.*

7. Pedersen C. Residential exposure to extremely low-frequency magnetic fields and risk of childhood leukaemia, CNS tumour and lymphoma in Denmark. / C. Pedersen, C. Johansen, J. Schüz, et al.; *Br J Cancer – 2015 – № 113 (9) – Pp. 1370-1374.*

8. Pedersen C. Occupational exposure to extremely low-frequency magnetic fields and risk for central nervous system disease: an update of a Danish cohort study among utility workers. / C. Pedersen, A.H. Poulsen, N.H. Rod N.H, et al.; *Int Arch Occup Environ Health – 2017.*

9. Villarini M. Primary DNA damage in welders occupationally exposed to extremely-low-frequency magnetic fields (ELF-MF) / M. Villarini, L. Dominici, C. Fatigoni, et al.; *Ann Ig – 2015 – № 27 (3) – Pp. 511-519.*

10. Li Y. Extra-low-frequency magnetic fields alter cancer cells through metabolic restriction / Y. Li, P. Heroux; *Electromagn Biol Med – 2014 – № 33 (4) – Pp. 264-275.*

11. Koeman T. Occupational exposure and amyotrophic lateral sclerosis in a prospective cohort / T. Koeman, P. Slotte, L.J. Schouten, et al.; *Occup Environ Med – 2017 – № 74 (8) – Pp. 578-585.*

12. Huss A. Residence near power lines and mortality from neurodegenerative diseases: longitudinal study of the Swiss population / A. Huss, A. Spoerri, M. Egger, et al.; *Am J Epidemiol – 2009 – № 169 (2) – Pp. 167-175.*

13. Li D.K. Exposure to Magnetic Field Non-Ionizing Radiation and the Risk of Miscarriage / D.K. Li, H. Chen, J.R. Ferber, et al.; *Sci Rep – 2017 – № 7 (1) – Pp. 75-84.*

14. Li D.K. Exposure to magnetic fields and the risk of poor sperm quality / D.K. Li, B. Yan, Z. Li, et al.; *Reprod Toxicol – 2010 – 29 (1) – Pp. 86-92.*

15. Fazzo L. Morbidity experience in populations residentially exposed to 50 Hz magnetic fields: methodology and preliminary findings of a cohort study / L. Fazzo, V. Tancioni, A. Polichetti, et al.; *Int J Occup Environ Health – 2009 – № 15 (2) – Pp. 133-142.*

16. Graham C. Nocturnal magnetic field exposure: gender-specific effects on heart rate variability and sleep / C. Graham, A. Sastre, M.R. Cook M. R, et al.; *Clin Neurophysiol – 2000 – № 111 (11) – Pp. 1936-1941.*

17. Carlsson F. Prevalence of annoyance attributed to electrical equipment and smells in a Swedish population, and relationship with subjective health and daily functioning / F. Carlsson, B.P. Karlson, K. Orbaek, et al.; *Health – 2015 – № 119 (7) – Pp. 568-77.*

18. Electromagnetic fields and public health: Electromagnetic Hypersensitivity, World Health Organisation (WHO) – 2005 – 296 p.

19. Bolte J.F.B. Electromagnetic fields in the working environment / J.F.B. Bolte, M.J.M. Pruppers; Ministry of Social Affairs and Employment (SZW) report. – 2006. – 175 p.

20. Епифанов А.П. Основы электропривода / А.П. Епифанов; М.: Лань, 2009. – 192 с. – ISBN 978-5-8114-0770-5.

21. Allen S. G. Review of Occupational Exposure to Optical Radiation and Electric and Magnetic Fields with Regard to the Proposed CEC Physical Agents Directive / S.G. Allen, R.P. Blackwell, P.J. Chadwick; National Radiological Protection Board – 1994 – 68 p.

22. Зачепа Н.В. Дослідження поширення магнітного поля асинхронної машини в умовах навчально-виробничих лабораторій / Н.В. Зачепа, О.А. Чорна, Д.В. Резнік, інш.; Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал Кременчук: КрНУ – 2017. – 3 (39). – С. 45 – 52.

23. Глива В.А. Просторові критерії екранування низькочастотних магнітних полів / В.А. Глива, Л.О. Левченко, Т.М. Перельот; Управління розвитком складних систем – 2015. – Вип. 22. – С. 158-164.

Надійшла до редколегії 16.01.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Глива, Національний авіаційний університет, Київ.

### ЭКРАНИРОВАНИЕ КАК СРЕДСТВО НОРМАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

Д.В. Резник, А.П. Черный, Ю.В. Зачепа, В.В. Ченчевой, А.А. Богодист, А.О. Вовк

Выполнен анализ влияния электромагнитных полей промышленной частоты на здоровье человека. Экспериментально установлены фактические уровни электромагнитных полей асинхронных двигателей в производственных условиях. Рассмотрены организационные мероприятия и технические средства в виде защитных экранов по нормализации электромагнитной обстановки в рабочей зоне производственных помещений. Установлено, что применение защитных экранов позволяет уменьшить более чем на 40% уровень индукции магнитного поля в рабочей зоне. На основе регрессионного анализа получена математическая модель зависимости индукции магнитного поля асинхронного двигателя, применение которой на этапе проектирования технических средств защиты позволяет оценить их эффективность по обеспечению допустимой электромагнитной обстановки на рабочем месте с учетом характеристик установленного электротехнического оборудования и технологически возможных в производственных условиях мест установки ограждающих конструкций.

**Ключевые слова:** индукция электромагнитного поля, асинхронный двигатель, экранирование.

### SHIELDING AS METHOD OF NORMALIZATION OF ELECTROMAGNETIC SETTINGS WORKING ENVIRONMENT

D.V. Reznik, O.P. Chorny, Iu.V. Zachepa, V.V. Chechevoy, A.O. Bogodyst, O.O. Vovk

An analysis of the influence of electromagnetic fields of industrial frequency on human health is performed. The actual levels of electromagnetic fields of asynchronous motors are experimentally established in production conditions. Organizational measures and technical means in the form of protective screens for normalizing the electromagnetic environment in the working area of industrial premises are considered. It has been established that the use of protective screens can reduce the level of magnetic field induction in the working area by more than 40%. On the basis of regression analysis a mathematical model of the induction of the magnetic field of an asynchronous motor, the application of which at the design stage of technical means of protection, allows us to assess their effectiveness in terms of ensuring an acceptable electromagnetic environment at the workplace, taking into account the characteristics of the installed electrical equipment and technologically feasible places for the installation of protective structures in production conditions.

**Keywords:** induction of electromagnetic field, asynchronous motor, shielding.

И.Ю. Чернявский<sup>1</sup>, В.В. Тютюник<sup>2</sup>, В.Д. Калугин<sup>2</sup>, З.В. Билык<sup>1</sup>, В.Б. Матыкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Военный институт танковых войск НТУ «ХПИ», Харьков

<sup>2</sup>Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ВОЕННОГО ХАРАКТЕРА

*В работе проведено выделение уровней иерархии информационных связей, отдельных задач комплексной оценки очагов ядерного поражения и связывающих их информационных потоков. Анализируются причинно-следственные связи множества основных параметров, характер зависимости между уровнем ценности необходимой информации и ее количеством в системе радиационного мониторинга. Апробирована методология количественной оценки полного и точного учета необходимых параметров в задаче комплексной оценки очагов ядерного поражения. Авторами предлагается методология комплексной оценки очагов ядерного поражения на основе регистрации и учета необходимых и достаточных параметров ядерного взрыва, параметров среды и параметров объекта в зоне чрезвычайной ситуации.*

**Ключевые слова:** теоретические и методологические основы построения, чрезвычайные ситуации военного характера, радиационный мониторинг, системно-информационный анализ, очаг ядерного поражения, параметры ядерного взрыва, выявление и оценка обстановки.

### Введение

**Постановка проблемы.** В системе общегосударственных мероприятий по защите населения в условиях чрезвычайных ситуаций военного характера [1, 9] всё большую актуальность приобретает как заблаговременная подготовка к проведению спасательных и неотложных аварийно-восстановительных работ, так и достоверная оценка сложившейся в данной ситуации радиационной обстановки. К особенностям радиационного воздействия в результате атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки относят: мгновенную реализацию основной части энергии ионизирующих излучений; наличие мощного нейтронного излучения и незнание пострадавшими особенностей поражения при ядерном взрыве. Эти особенности радиационного воздействия и определили характер радиологической защиты, осуществленной по принципу организации «косвенных контрмер», когда эти меры не могут изменить дозу облучения, но могут изменить качество жизни (состояние здоровья), и тем самым снизить вероятность реализации неблагоприятных эффектов облучения. Поэтому считается, что в условиях воздействия радиационного фактора военного характера [1-10] оперативное выявление и достоверная оценка ситуации являются взаимосвязанными этапами, определяющими эффективность принятия управленческого решения региональными штабами и службами гражданской защиты.

Оценка ситуации методом прогнозирования путем «идеализации» возможной радиационной обстановки [2] в тех или иных конкретных условиях может считаться вполне удовлетворительной, и годится лишь для решения задач общего планирова-

ния, как правило, действий для военизированных формирований, основной задачей которых является выполнение поставленных аварийно-спасательных работ в очагах ядерного поражения (ОЯП).

Проведенный анализ эффективности применения существующих методик по оценке возможных чрезвычайных ситуаций военного характера [2, 9, 10, 25] показывает, что значительные ошибки при решении таких задач в современных условиях связаны:

- с применением методик и моделей, разработанных для оценки возникающих ситуаций, характерных для сценариев боевых действий с массированным применением ядерного оружия [31]. Существующие методики не учитывают тип ядерного боеприпаса, неспособны оценивать воздействие нестандартных боеприпасов, боеприпасов на новых физических принципах.

- с отсутствием комплексной многокритериальной оценки степени поражения населения при воздействии проникающей радиации (ПР) ядерного взрыва, зон радиоактивного заражения местности (РЗМ) и радиационно-опасных районов с наведенной активностью (НА). В специальной литературе под термином «радиационная обстановка» подразумевают оценку лишь радиационно-опасных участков местности, выявление которых позволяло бы своевременно и целенаправленно привести в действие комплекс мероприятий по защите населения от воздействия ионизирующих излучений на РЗМ (режимы радиационной защиты), и не учитываются дозовые нагрузки, получаемые населением в результате мгновенного облучения гамма-нейтронным излучением ПР. Методология оценки масштабов радиоактивно зараженной местности для разных видов ядерного взрыва, метеорологических условий достаточно хорошо проработана в специаль-

ной литературе [1-9, 25]. Динамика и площади формирования радиационно-опасных районов с НА определяются соотношением реакций деления и синтеза данного типа ядерного боеприпаса, зависят от энергии нейтронной компоненты ПР, высоты взрыва, характера подстилающей поверхности (почвы). Указанные условия не отражены в современных методиках оценки радиационной обстановки.

- с отсутствием четко организованной системы прогнозирования доз ПР и радиационных потерь в очагах комбинированного ядерного поражения с выделением ведущего поражения: с преимущественно радиационно-механическим поражением (РМП); радиационно-термическим поражением (РТП); с комбинированным радиационным поражением (КРП); с радиационным поражением в «чистом» виде [27]. Отсутствие корректной оценки радиационного поражения в «чистом» виде связано, на наш взгляд, с отсутствием моделей прохождения гамма-нейтронного излучения ПР в пространстве и воздействия импульсного гамма-нейтронного излучения на человека, которые учитывают неравномерность облучения [26, 28, 30]. Проблемы оценки комбинированного поражения населения обычно связаны с отсутствием априорной информации о доминировании одного из поражающих факторов ядерного взрыва в интересующем для нас районе, что, в свою очередь, также связано с параметрами ядерного взрыва, типом ядерного боеприпаса.

- с отсутствием надежной и своевременной информации о параметрах ядерного взрыва, а также с отсутствием в настоящее время эффективных войсковых методов регистрации параметров взрывов малых и сверхмалых калибров, нейтронных боеприпасов [32]. Данное информационное звено является исходным источником достоверных данных для единой государственной системы выявления и оценки масштабов и последствий применения оружия массового поражения (ЕСВОП).

Надежность полученных данных существующих методик оценки уровня чрезвычайных ситуаций определяет порядок и особенности восстановительных и аварийно-спасательных работ, он также связан с особенностями ОЯП, что делает вопросы комплексной оценки ситуации в очагах ядерного поражения особо важными в современных условиях и требующими детальной проработки.

С учетом изложенных результатов анализа возможностей методик по выявлению и оценке обстановки в ОЯП для поддержки принятия решения целесообразно создание специализированной системы радиационного мониторинга параметров радиационного фактора, которая позволяет моделировать сложившуюся ситуацию, корректно оценивать масштабы комбинированного поражения и прогнозировать развитие последствий. Такой комплексный подход при оценке обстановки в ОЯП, с нашей точки зрения, возможен благодаря существующим зависимостям между закономерностями в развитии ядерного взрыва боеприпасов различного типа,

мощности и вида взрыва [3-7, 10-18, 20-24] и параметрами импульсного гамма-нейтронного излучения проникающей радиации.

В научно-технической литературе существуют работы, посвященные разработке и созданию системы выявления и оценки радиационной обстановки для обеспечения безопасности жизнедеятельности населения [31, 33], в которых рассматриваются критерии для построения системы радиационного мониторинга, основанной на прогнозировании степени радиационного поражения населения по данным регистратора параметров радиационного фактора. Однако, они пока не раскрывают в достаточной мере вопросов информационного обеспечения, определяющих и обосновывающих структуру системы радиационного мониторинга.

Необходимо отметить, что управление сложными технологическими процессами, а, тем более, систем мониторинга, отвечающих за своевременное выявление и качественную оценку обстановки в условиях чрезвычайных ситуаций военного характера, до сих пор реализуется в условиях недостатка информации. Поэтому для достижения целей с помощью системы радиационного мониторинга весьма важно, чтобы в соответствующие центры обработки информации стекалась только необходимая (достаточная по объему) информация.

В данной работе предпринята попытка разработать теоретические и методологические основы построения таких систем (мониторинга) на основе системно-информационного анализа [34]. Поэтому проанализирован характер зависимости между уровнем ценности информации и ее количеством в системе радиационного мониторинга. Кроме того, в работе проведено выделение уровней иерархии информационных связей, отдельных задач комплексной оценки очагов ядерного поражения и связывающих их потоков информации. Изложена и апробируется методология количественной оценки полноты и точности учета необходимых параметров в задачах комплексной оценки очагов ядерного поражения.

## **Изложение основного материала**

Методы оценки очагов ядерного поражения по времени проведения целесообразно подразделить на две группы: методы, основанные на анализе параметров ядерного взрыва с последующим моделированием радиационной ситуации (метод прогнозирования), и методы, основанные на выявлении фактической радиационной обстановки, т.е. на апостериорных оценках (оценке последствий уже произошедшей чрезвычайной ситуации). Под апостериорной оценкой надо понимать весь комплекс мероприятий, проводимый силами специализированных формирований: ведение радиационной разведки местности, контроль доз облучения (дозиметрический контроль), контроль радиоактивного заражения различных предметов (населения), радиометрический анализ продуктов питания, воды и фуража [1, 2]. На рис. 1

приведена ориентировочная оценка изменения уровня радиации на местности в зависимости от времени, прошедшего после ядерного взрыва, а также представлены моменты времени начала формирования радиационно-опасных районов местности ( $t_0$ ), начала ( $t_{н.разв}$ ) и конца ( $t_{к.разв}$ ) фактической радиационной разведки местности силами специализированных формирований гражданской защиты.

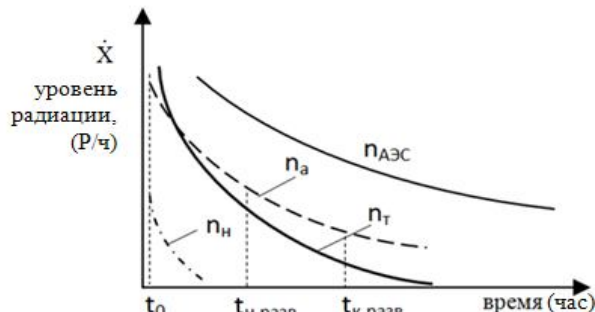


Рис. 1. Ориентировочная оценка изменения уровня радиации на местности в зависимости от времени, прошедшего после взрыва ядерного боеприпаса данного типа (показателя степени  $n$ ):  
 $n_n \approx 1,8-2,5$  – для взрыва нейтронного боеприпаса;  
 $n_t = 1,3$  – для термоядерного взрыва;  
 $n_a = 1,2$  – для воздушного атомного взрыва;  
 $n_{АЭС} = 0,4$  для наземного атомного взрыва и АЭС с реактором типа ВВЭР [10, 13, 25]

Уровни радиации для различных типов взрывов рассчитываются по уравнению:

$$\dot{X}_t = \dot{X}_0 (t/t_0)^{-n}, \quad (1)$$

где  $\dot{X}_0$  и  $\dot{X}_t$  – уровни радиации (мощность экспозиционной дозы гамма-излучения) на моменты времени  $t_0$  и  $t$  соответственно.

На основе данных о процессе формирования радиационно-опасных районов местности и конкретного времени получения данных о фактической радиационной обстановке оценку ОЯП на основе анализа параметров ядерного взрыва целесообразно считать не только комплексной, но и в достаточной степени «априорной» по отношению к результату выявления фактической радиационной обстановки.

С другой стороны, априорная оценка, как отмечалось ранее в работе [31], связана с тем, что имеется не только заранее подготовленная база данных о параметрах ядерных боеприпасов, среды распространения поражающих факторов ЯВ, подстилающей поверхности (почвы), о параметрах оцениваемого объекта (коэффициент защищенности и т.д.), но и просчитанные возможные ситуации ( $S_i$ ), которые могут сложиться в очагах ядерного поражения. Если число возможных ситуаций (сценариев комбинированного поражения населения) невелико, то именно для этих ситуаций можно заранее построить многомерное пространство состояний на основании параметров ядерного взрыва ( $X_{яв}$ ), параметров среды ( $X_{сред}$ ), параметров объекта ( $Y_{объект}$ ) и оперативно решить задачу выявления и оценки обстановки в ОЯП (рис. 2).

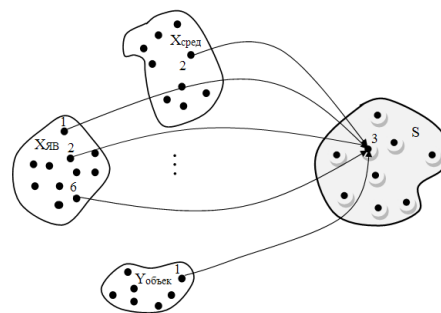


Рис. 2. Ситуационное управление при выявлении и оценке обстановки

Из вышеизложенного следует, что можно заготовить необходимый классификатор ситуаций в виде таблицы вероятных сценариев поражения населения, связанный с особенностями развития и доминированием поражающих факторов боеприпасов определенного типа, мощности и вида ЯВ. Данный факт позволяет оперативно выявлять и оценивать сложившуюся обстановку, применяя метод ситуационного управления [35]. На основе анализа работ, связанных с физикой ядерных взрывов, особенностями действия поражающих факторов ядерного взрыва [3-6, 14, 15, 21-24], а также на основе радиологических исследований [26, 28, 29] нами предложена медико-тактическая характеристика наиболее вероятных ситуаций (табл. 1).

В табл. 1 возможные ситуации характеризуются параметрами ядерного взрыва (мощность и вид ядерного взрыва, тип ядерного боеприпаса, спектральные характеристики гамма-нейтронного излучения проникающей радиации, соотношение между гамма-нейтронным излучением); ожидаемыми санитарными потерями при данной форме острой лучевой болезни (с максимальной дозой гамма-нейтронного облучения); наличием радиационно-опасных районов местности (с показателем степени спада активности). В графе «спектральные характеристики» в скобках указаны проценты доминирующего спектра излучения. В графе «радиационное поражение» в скобках указан процент комбинированного поражения.

Учитывая вышеизложенное, система радиационного мониторинга чрезвычайных ситуаций военного характера, основанная на анализе параметров ядерного взрыва с последующим использованием классификатора ситуаций комплексной оценки ОЯП должна базироваться на технологиях, которые включают: технологии мониторинга (наблюдения) за состоянием среды, связанной с измерением параметров ядерного взрыва; технологии математического моделирования – оценки (обработки) измеренной информации на основе экспертно-аналитических моделей; геоинформационные технологии – создание банка данных и констант для работы математических моделей, интерпретация первичной информации, обработка данных для последующего использования в расчетах, моделировании и прогнозах. Как вариант, на рис. 3. представлена предлагаемая нами методология комплексной оценки очагов ядерного поражения.



Таблиця 1

Медико-тактична характеристика ситуацій при примененні ядерного озброєння

Характеристика параметрів		Ситуації				
		S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
мощність ЯВ, кг		0,1-1	0,1-5	5-20	50-500	500-1000
вид ЯВ		В	В	В	Н, П	Н, П
спектральні характеристики	енергія нейтронів E <sub>n</sub> , МэВ	2,3-1,1 (15,4%)	14-12,2 (40,5%)	2,3-1,1 (15,4%)	2,3-1,1 (9,03%)	2,3-1,1 (9,03%)
	енергія нейтронів E <sub>γ</sub> , МэВ	2-1 (43%)	2-1 (33,2%)	2-1 (43%)	2-1 (43%)	2-1 (43%)
тип ЯБ		атомний	нейтронний	атомний	термоядерний	термоядерний
ОЯП		КРП	КРП	РТП	РТМ	термич.пораж.
приблизний внесок в загальну дозу %	n	70	90	70	40	30
	γ	30	10	40	60	70
санітарні втрати в %	радіаційні ураження	95-97 (5-3)	100 (не очікує.)	40-70 (60-30)	одиначні (50-30)	не очікує. (5-3)
	термічні опіки	не очікує.	не очікує.	одиначні	50-70	95-97
максимальна доза в районі санітарних втрат, Гр		50 і більше	60-120 і більше	15	6	6
форми ОЛБ		церебральна кишечна судинна	рання перехідна неадекватність (РПН)	кишечна судинна	кишечна кістково-мозгова	кишечна кістково-мозгова
радіаційно-небезпечні райони місцевості		НА, РЗМ	НА	НА, РЗМ	НА, РЗМ	РЗМ
показник ступеня спаду активності, n		1,2	1,8-2,5	1,2	1,3	1,3

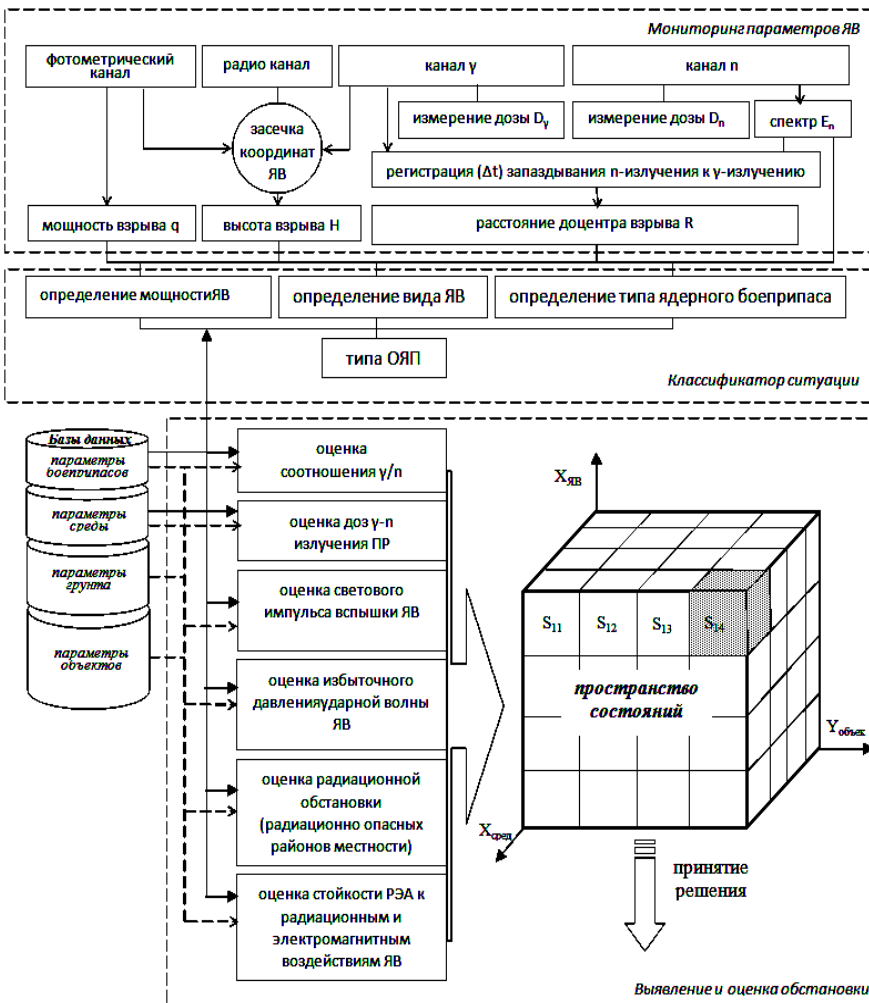


Рис. 3. Методологія комплексної оцінки осередків ядерного ураження в системі радіаційного моніторингу

Функціонально необхідно виділити модуль моніторингу параметрів ЯВ (фотометричний канал, радіо-канал, канал гамма-нейтронного випромінювання ПР) [31, 32], модуль класифікатора ситуації та модуль виявлення та оцінки складившої обстановки. Окремим функціональним елементом служить спеціалізована база даних параметрів ядерних боеприпасів (атомний, термоядерний, нейтронний), параметрів середовища (атмосфери), параметрів ґрунту, параметрів об'єкта.

Комплексна оцінка включає:

- оцінку біологічного впливу гамма-нейтронного випромінювання ПР ядерного вибуху всіх типів боеприпасів з урахуванням нерівномірності облучення на заданій відстані від центру вибуху та енергетичних спектрів випромінювань;
- оцінку меж зон ураження різної ступеня тяжкості світловим випромінюванням ЯВ;

- оцнку границ зон поражения разной степени тяжести избыточным давлением ударной волны ЯВ;
- выявление и прогнозирование границ радиационно-опасных участков местности (зон и районов), формирующихся как в результате загрязнения продуктами радиоактивного распада, так и районов с НА, образующихся в результате воздействия нейтронной компоненты ПР; оперативное определение показателя степени спада ( $n$ ) активности в указанных районах (рис.1); расчет уровней радиации на заданный период времени (выражение (1) с последующим прогнозированием дозовой нагрузки;
- оцнку стойкости радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) инфраструктуры в ОЯП к радиационным и электромагнитным воздействиям ЯВ.

В общем случае комплексная оценка ОЯП представляет собой исследовательский и расчетно-аналитический процесс, целью которого является получение данных о потерях населения в виде приведенных зон гамма-нейтронного облучения, а также о характере развития прогнозируемого явления (наличие радиационно-опасных районов) и определяющих параметрах функционирования систем или объектов инфраструктуры. Использование предложенной методологии радиационного мониторинга (рис. 3), основанной на анализе параметров ядерного взрыва с последующим использованием классификатора ситуаций, в состоянии обеспечить необходимый уровень оперативности выявления и оценки ситуации при наличии только оптимального объема и качества информации.

Для анализа большинства практических задач комплексной оценки в системе радиационного мониторинга достаточным набором информационных показателей будут количество единиц (элементов) информации ( $I$ ), качество (ценность) единицы информации с точки зрения достижения определенных целей ( $\lambda$ ) и себестоимость единицы информации. Производными от этого минимального набора показателей являются, согласно работам Ю.М. Горского [34], количество взвешенной по полезности (ценности) информации ( $I$ ) и затраты на получение единицы информации. В общем случае  $I'$  будет некоторой функцией (в частном случае  $I' = f(I, \lambda)$ ). На рис.4 представлен характер зависимости между ценностью получаемой информации при комплексной оценке очагов ядерного поражения и её количеством. Важным аспектом характера информации является нелинейность полезной информации, т.е. уменьшение ценности информации ( $\lambda_1 = \varphi(I)$ ) с возрастанием ее количества. Падение «удельной» ценности информации связано с перенасыщением ее осведомляющей информацией, которая не всегда является необходимой для удовлетворительного функционирования системы радиационного мониторинга. В отдельных случаях, когда  $I'$  совпадает с  $I$ , тогда  $\lambda_2 = \text{const} = 1$ , - это является необходимым и достаточным объемом информации для корректного выявления и оценки сложившейся ситуации в ОЯП.

Область, находящуюся под кривой информативности  $I'$  (рис. 4), будем определять как область четких данных о параметрах ядерного взрыва ( $X_{\text{яв}}$ ), параметрах среды ( $X_{\text{сред}}$ ), параметрах объекта ( $Y_{\text{объект}}$ ) т.е. область данных, характерных только для конкретной ситуации. Соответственно, область над кривой  $I'$  - это область нечетких данных, в ней могут находиться данные других ситуаций.

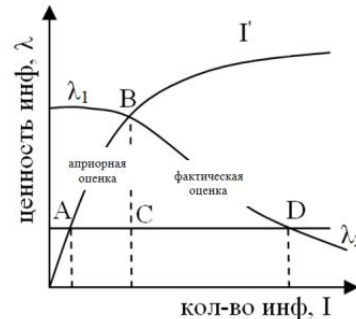


Рис. 4. Характер зависимости между ценностью информации и ее количеством

Область, в которой происходит накопление и, соответственно, увеличение объема информации при радиационном мониторинге, целесообразно определить как область необходимой и достаточной информации. Для точки А (рис.4) данный объем достаточен для выявления и оценки сложившейся ситуации, а, следовательно, и для принятия первого обоснованного решения. Увеличение количества информации дает возможность достичь области оптимального объема и качества информации для взвешенного выявления и оценки сложившейся ситуации в границах заданного времени (область ABC). Точка В соответствует оптимальному отношению количества полученной информации с ее ценностью - область оптимальной информации.

Область (BCD), в которой увеличение количества информации приводит к уменьшению ее качества, характеризуется уменьшением ценности информации:

- за счет увеличения времени на обработку информации в системе радиационного мониторинга, а также на оценку ее ценности;

- за счет нахождения информации в области нечетких данных с последующей классификацией ее как излишней;

- за счет увеличения времени на выявление и оценку сложившейся ситуации.

Кроме того, проведенный анализ показывает, что при выявлении и оценке обстановки информация со временем теряет свою ценность за счет обесценивания информации (например, из-за несвоевременного проведения радиационной разведки местности либо из-за превышения допустимых временных параметров на ее проведение), старения информации из-за задержек при ее передаче или переработке.

Точка D является критической точкой, когда количество полученной информации является предельно-допустимой для надежного и своевременного вы-



явления и оценки ситуации, далее начинается область лишней, «ненужной» информации. Исходя из вышеизложенного, предлагается использовать следующую модель оценки уровня информативности необходимой в системе радиационного мониторинга информации:

$$I = f(\lambda, t, X, T), \quad (2)$$

где  $\lambda$  – ценность (полезность) поступающей информации;  $t$  – затраченное время на получение информации;  $X$  – характеристика информации: четкие или нечеткие данные;  $T$  – период, за который может быть выявлена и оценена ситуация при наличии таких данных.

Систему радиационного мониторинга невозможно представить одной моделью – необходима целая иерархия моделей, которые будут различаться по уровню отображаемых явлений. Поэтому проанализируем необходимую базу знаний с целью оптимизации информационного состава объема, структуры и

свойств системы радиационного мониторинга чрезвычайных ситуаций военного характера. По нашим оценкам, такой процесс позволит уже на ранних этапах исследования «отсечь» заведомо неприемлемые концепции комплексной оценки ОЯП, выделить «узкие места», подлежащие дальнейшей проработке, устранить возникающие противоречия. На основе анализа полумпирических зависимостей, полученных при ядерных испытаниях и изложенных в открытой литературе [3-8, 10-24], а также на основании проведенных нами исследований по влиянию соотношений гамма-нейтронного излучения на корректную оценку действия ПР, нами построена иерархия задач (рис. 5), связанная с учетом основных параметров: ядерного взрыва, среды распространения и объекта, необходимых, с нашей точки зрения, для комплексной оценки очагов ядерного поражения при применении боеприпасов разного типа, мощности и вида ЯВ.

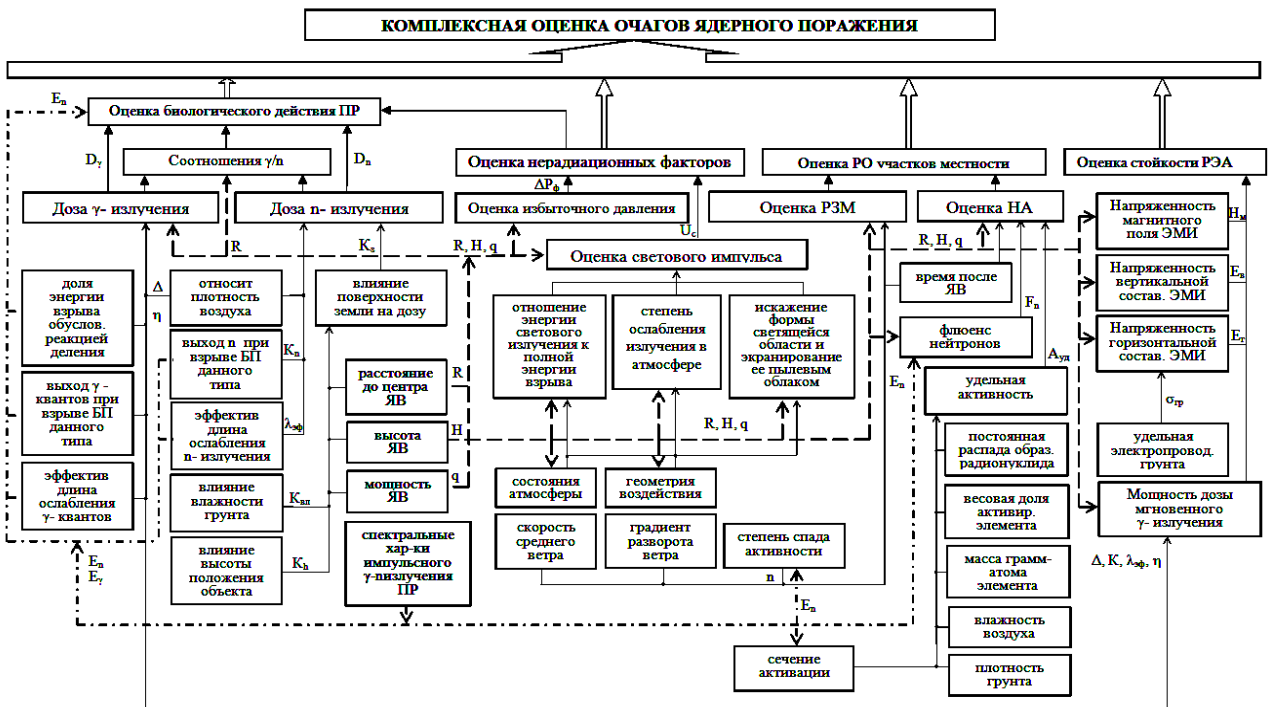


Рис. 5. Декомпозиция задачи учёта необходимых и достаточных параметров для комплексной оценки очагов ядерного поражения

Анализ проведенной декомпозиции показывает, что функционирование системы характеризуется причинно-следственными связями между множеством основных параметров. Порядка 90 % всех учтенных параметров как при оценке биологического действия ПР на население (с учетом поражения от нерадикационных факторов ЯВ), так и при оценке возможных потерь на радиационно-опасных (РО) участках местности, зависят от базовых параметров ядерного взрыва  $X_{яв}$ , расстояния до центра взрыва и высоты взрыва (т.е. координаты ЯВ), мощности ЯВ. Выявлено, что определение такого параметра, как высота ЯВ, обеспечивает при оценках нерадикационных факторов учет не только метеорологических характеристик атмосферы (состояние атмосферы), но и вида ядерного взрыва.

Анализ перечисленных параметров ядерного взрыва показал, что несмотря на то, (как принято считать), что радиус зоны поражения ударной волной нейтронного боеприпаса меньше, чем при взрыве атомного боеприпаса той же мощности, проведенный нами анализ не выявил особенностей в оценке нерадикационных факторов ЯВ боеприпасов различного типа (атомный, термоядерный или нейтронный).

Однако, такой параметр, как спектральные характеристики ПР, необходим для определения как специфики прохождения гамма-нейтронного излучения в пространстве  $X_{сред}$  (параметры среды), так и специфики поражающего действия в очагах ядерного поражения, что отражается при учете типа ядерного боеприпаса (БП). Поэтому спектральные характеристики ( $E_n$ ) нейтронного излучения проникающей

радиации является определяющими при выборе следующих параметров (рис. 5): выхода нейтронов при ЯВ данного типа; длины свободного пробега нейтронов ЯВ данного типа; флюенса нейтронов; сечения активации для элементов грунта; степени спада активности на зараженной местности. Для количественной оценки полноты и точности учета необходимых параметров в задачах по комплексной оценке ОЯП, представленных на рис. 5, будем использовать показатель, вычисляемый по выражению [36]:

$$K_{\text{полн}} = 1 - \sum_{j=1}^4 \xi_j \sum_{i \in \gamma_j} \lambda_i, \quad (3)$$

где  $0 < \lambda_i < 1$  – вес (ценность)  $i$ -го параметра;  $\gamma_j$  – множество параметров, которые учитываются  $j$ -м способом обобщения;  $\xi_j$  – погрешность, обусловленная неточным (обобщением) учётом параметра. Значение относительной погрешности  $\xi_j$  ( $j = 1, 2, 3, 4$ ) зависит от способа учёта параметров и обычно находится в пределах:

$$\xi_j = \begin{cases} 0 - \text{при непосредственном (Н) учете (j = 1);} \\ 0,4 - \text{при простом (П) обобщении (j = 2);} \\ 0,6 - \text{при функциональном (Ф) обобщении (j = 3);} \\ 1,0 - \text{при косвенном (К) обобщении (j = 4).} \end{cases}$$

Непосредственным способом учёта параметра является измерение спектральных характеристик гамма-нейтронной компоненты, т.е. определение энергии воздействующего излучения прямым спектрометрическим методом ( $E_{\gamma/n}$ ).

Простое обобщение связано с присвоением некоторого значения из заранее прописанных величин, взятых из баз данных. Например, для зарегистрированных значений энергии нейтронного излучения

таким параметром будет доля энергии взрыва, обусловленная реакцией деления ( $\eta$ ) или эффективная длина ослабления нейтронного излучения ( $\lambda_{\text{эф}}$ ) (рис. 5).

Функциональное обобщение заключается в аналитическом вычислении необходимого параметра с учётом других зависимостей и всех возможных поправочных коэффициентов. К такого рода обобщению целесообразно отнести определение поглощенной дозы гамма-излучения ( $D_{\gamma}$ ) или флюенса нейтронов ( $F_n$ ) на заданном расстоянии от центра взрыва, влияния поверхности Земли на определение значения поглощенной дозы нейтронного излучения ( $K_3$ ).

При косвенном учёте (обобщении) оценка параметра формируется в условиях неопределённости информации об объекте, в разряд которой попадает положение тела человека по отношению к источнику (здесь для получения граничной оценки наиболее пессимистического прогноза можно принять худшую ситуацию). Данный подход к оценке полноты и точности учета необходимых параметров позволяет ранжировать их как по способу получения, так и по важности (ценности) их учета в предлагаемых моделях.

Учитывая информационно-логические связи в представленной на рис. 5 иерархии, нами получено ранжирование основных параметров, влияющих на корректную оценку биологического действия гамма-нейтронного излучения ПР, и способы их учёта в системе радиационного мониторинга (табл.2). При ранжировании были выделены только прямые связи, влияющие на оценку биологического действия гамма-нейтронного излучения ПР. Такой параметр, как поглощенная доза гамма-нейтронного излучения, не представлен, однако учтены параметры и коэффициенты, его определяющие, по известным в литературе выражениям [3-8,10-24].

Таблица 2

Ранжирование основных параметров, влияющих на корректную оценку биологического действия гамма-нейтронного излучения ПР, и способ их учёта в системе радиационного мониторинга

№	Наименование параметра	Способ учёта	Вес параметра в относ. единицах
1	Мощность ядерного взрыва (тротиловый эквивалент)	Ф	0,25
2	Спектры гамма-нейтронного излучения	Н	0,2
3	Расстояние между человеком и центром ЯВ	К	0,1
4	Высота ядерного взрыва	Н	0,1
5	Выход нейтронов при взрыве боеприпаса данного типа	П	0,06
6	Соотношение компонентов гамма-нейтронного излучения ( $\gamma/n$ )	Н	0,05
7	Выход $\gamma$ -квантов при взрыве боеприпаса данного типа	П	0,05
8	Эффективная длина ослабления $\gamma$ -квантов	П	0,05
9	Эффективная длина ослабления $n$ -излучения	П	0,05
10	Доля энергии взрыва, обусловленная реакцией деления	П	0,04
11	Относительная плотность воздуха	П	0,015
12	Влияние поверхности Земли на дозу	Ф	0,015
13	Избыточное давление во фронте ударной волны	Ф	0,01
14	Световой импульс вспышки ядерного взрыва	Ф	0,01

Примечания: Н – непосредственный учёт фактора (измерение); Ф – учёт фактора путём функционального обобщения (вычисление); П – простое обобщение; К – косвенное обобщение

Используя выражение (3) и полученные весовые значения (табл. 2), оценим полноту и точность

учёта различных параметров в предложенной иерархии:

$$K_{\text{полн}} = 1 - (\lambda_1(0,25) \cdot \xi_3(0,6) + \lambda_2(0,2) \cdot \xi_1(0) + \lambda_3(0,1) \cdot \xi_4(1) + \lambda_4(0,1) \cdot \xi_1(0) + \lambda_5(0,06) \cdot \xi_2(0,4) + \lambda_6(0,05) \cdot \xi_1(0) + \lambda_7(0,05) \cdot \xi_2(0,4) + \lambda_8(0,05) \cdot \xi_2(0,4) + \lambda_9(0,05) \cdot \xi_2(0,4) + \lambda_{10}(0,04) \cdot \xi_2(0,4) + \lambda_{11}(0,015) \cdot \xi_2(0,4) + \lambda_{12}(0,015) \cdot \xi_3(0,6) + \lambda_{13}(0,01) \cdot \xi_3(0,6) + \lambda_{14}(0,01) \cdot \xi_3(0,6) = 1 - 0,377 = 0,623.$$

Аналогічним образом определяется полнота и точность учёта представленных в иерархии параметров, необходимых для оценки нерадиационных факторов, радиационно-опасных районов местности и стойкости радиоэлектронной аппаратуры.

Таким образом, апробирована методология количественной оценки полного и точного учета необходимых параметров в задаче комплексной оценки очагов ядерного поражения.

## Выводы

1. Показано, что система радиационного мониторинга чрезвычайных ситуаций военного характера базируется на общих принципах технологии мониторинга за состоянием среды, использования технологии математического моделирования – оценки (обработки) измеренной информации на основе экспертно-аналитических моделей; на результатах геоинформационных технологий (создание банка данных и констант для работы математических моделей, интерпретация первичной информации, обработка данных для последующего использования в расчетах, моделировании и прогнозах).

2. Установлено, что использование априорного метода при обработке результатов моделирования, основанного на анализе параметров ядерного взрыва с последующим использованием классификатора ситуаций, в состоянии обеспечить необходимый уровень оперативности выявления и оценки ситуации при наличии оптимального объема и качества информации. На основе анализа характера зависимости между ценностью информации и ее количеством предложена модель оценки информативности, необходимой в системе радиационного мониторинга.

3. Проведена количественная оценка полноты и точности учета необходимых параметров в задачах по оценке биологического действия гамма-нейтронного излучения проникающей радиации на основании критерия, учитывающего способ учёта параметров, а также ценность данной информации в системе радиационного мониторинга.

## Список литературы

1. *Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Справочник / Под редакцией Г.П. Демиденко. 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вищашик. Головное изд-во, 1989. – 287 с.*  
 2. *Защита от оружия массового поражения / Под ред. В.В. Мясникова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Воениздат. 1989. – 389 с.*  
 3. *Григорян С.С., Григорян Г.С., Шапиро. – М.: Мир, 1971. 680 с.*

4. *Действие ядерного оружия: Пер. с англ. – М.: Воениздат, 1965. – 683 с.*  
 5. *Иванов А.И., Рыбкин Г.И. Поражающее действие ядерного взрыва. – М.: Военное издательство МО Союза ССР, 1960. – 378 с.*  
 6. *Иванов А.И., Науменко И.А., Павлов М.П. Ракетно-ядерное оружие и его поражающее действие. М., Воениздат, 1971. 224с.*  
 7. *Зыков И.К. Радиоактивные излучения ядерного взрыва. – изд. ЛВИКА им.А.Ф. Можайского. –1970. –108 с.*  
 8. *Механическое действие ядерного взрыва. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. –384 с.*  
 9. *Гражданская оборона: Учебник для вузов/В. Г. Атаманюк, Л. Г. Ширшев, Н. И. Акимов. Под ред. Д. И. Михайлика. – М.: Высш. шк., 1986. –207 с:*  
 10. *Тыльков С.Д., Волков А.В. Оценка обстановки в чрезвычайных ситуациях. Методические указания.–М. МИИТ, 2008. –32 с.*  
 11. *Оценка устойчивости работы электронных систем при воздействии ионизирующих излучений: метод. пособие для практич. занятий по дисц. «Защита населения и хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях. Радиационная безопасность»/А.Н. Навоша и др. – Минск: БГУИР, 2008. –18 с.*  
 12. *Особенности проектирования электронных средств специального назначения [Электронный ресурс]: научно-образоват. модуль/Минобрнауки России, Самар. Гос.аэрокосм. ун-т им.С.П.Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. Г.Ф. Краснощекова. Электрон.текстовые и граф. дан.(3,87 Мбайт)– Самара, 2012.– 1 эл. опт. диск (CD-ROM).*  
 13. *Справочник по поражающему действию ядерного оружия. Часть 1. Поражающее действие ядерных взрывов и оценка эффективности ядерных ударов.–М. Военное издательство.–1986. –608 с.*  
 14. *Боевые свойства ядерного оружия –М.: Военное издательство. –1967. –624 с.*  
 15. *Днепровский А.П. Оружие массового поражения и защита авиационных подразделений. – изд. ВВИА им. Н.Е. Жуковского. –1983. – 358 с.*  
 16. *Лазарев Г.Н. Физико-технические принципы устройства и поражающее действие ядерного оружия. – изд. КВВАИУ.–1982. –249 с*  
 17. *Волощенко А.М., Гончаров А.Н., Кондушкин Н.А. Влияние влажности воздуха на характеристики ионизирующих излучений// Сб. научных трудов МИФИ: Защита от ионизирующих излучений / Под ред. В.К. Сахорова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. С. 57-60.*  
 18. *Гаранюшкин Н.В., Кондурушкин Н.А. Банк данных для расчёта полей нейтронов и гамма-излучения от точечных и распределённых источников у границы раздела воздух-земля// Шестая Российская научная конференция по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок. Тезисы докладов. – Обнинск: ГНЦ ФЭИ, 1994. Т.1. С. 93-94.*  
 19. *Распространение ионизирующих излучений в воздухе/ Климанов В.А., Коновалов С.А., Кочанов В.А. и др. Под ред. В.И. Кухтевича и В.П. Машковича.– М.: Атомиздат, 1979. – 216 с.*  
 20. *Кухтевич В.И. и др. Защита от проникающей радиации ядерного взрыва. – М. Атомиздата, 1970 –192 с.*  
 21. *Тарасенко Ю. Н. Ионизационные методы дозиметрии высокоинтенсивного ионизирующего излучения – М.: Техносфера, 2013. – 264 с.*

22. Тарасенко Ю.Н. Вторичные эталоны единиц измерения ионизирующих излучений. –М.: Техносфера, 2011. –448 с.

23. Физика ядерного взрыва: Том 1. Развитие взрыва/ Министерство обороны Российской Федерации. Центральный физико-технический институт. –М.: Наука. Физматлит, 1997. -528 с.

24. Физика ядерного взрыва: Том 2. Действие взрыва/ Министерство обороны Российской Федерации. Центральный физико-технический институт. –М.: Наука. Физматлит, 1997. -256 с.

25. STANAG 2103. Reporting nuclear detonations, biological and chemical attacks, and predicting and warning of associated hazards and hazard areas. ATP-45(A,C), NATO Volume 1-2,2005.

26. Дозовая нагрузка на человека в полях гамма-нейтронного излучения. М., Атомиздат, 1978.- 168 с. Авт.: Гозенбук В.Л., Кеирим-Маркус И.Б., Савинский А.К., Чернов Е.Н.

27. Хоруженко А.Ф. Комбинированные радиационные поражения при чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени. Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. Выпуск №1. Том 4., 2014 г. С. 310-323.

28. Куценко С.А., Бутомо Н.В., Гребенюк А.Н. и др. Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита: Учебник/Под ред. С.А. Куценко. – СПб: ООО «Издательство ФОЛИАНТ», 2004. -528 с.

29. Клинические рекомендации по оказанию медицинской помощи пострадавшим от воздействия ионизирующего излучения в чрезвычайных ситуациях. – М.: МЗ РФ.–2013. –72 с.

30. Радиационная медицина: учеб.пособие/А.Н. Гребенюк, В.И. Легеза, В.И. Евдокимов, В.В. Салухов, А.А. Тимошевский; под. ред. С.С. Алексанина, А.Н. Гребенюка; Всерос. центр. экстрен. и радиац. Медицины им. А.М. Никифорова МЧС России. –СПб.: Политехника-

сервис,2013.–Ч.2: Клинича, профилактика и лечение радиационных поражений.–156 с.

31. Чернявский И.Ю. Оценка степени радиационного поражения путём прогнозирования дозовых нагрузок за данными датчика боеспособности / И.Ю. Чернявский, В.В. Марущенко, А.В. Матыйкин// Системи озброєння і військова техніка: науково – технічний журнал. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – №1(45). – С. 125 – 133.

32. Чернявский И.Ю., Григорьев А.Н., Билык З.В., Матыйкин В.Б. Применение кремниевых рп детекторов для регистрации параметров ядерного взрыва. Системи озброєння і військова техніка: науковий журнал. – Х. Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – №4(48). – С. 61–68.

33. Чернявский И.Ю., Тютюник В.В., Калугин В.Д. Анализ условий для создания системы выявления и оценки уровня радиационной безопасности жизнедеятельности населения при чрезвычайных ситуациях военного характера. Збірка наукових праць. Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків : НУЦЗУ, 2016. – Вип. 23. – С. 168– 185.

34. Горский Ю.М. Системно-информационный анализ процессов управления / Ю.М. Горский. – М., 1988. – 322 с.

35. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука.–Гл. ред. Физ.-мат. Лит., 1986. - 288 с.

36. Городнов В.П. Моделирование боевых действий частей, соединений и объединений войск ПВО / В.П. Городнов. – Х.: ВИРТА ПВО, 1987. – 380 с.

Надійшла до редколегії 27.12.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Стаховський, Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету «ХПІ», Харків.

## ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ ПОВБУДОВИ СИСТЕМИ РАДІАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ВОЄННОГО ХАРАКТЕРУ

І.Ю. Чернявський, В.В. Тютюник, В.Д. Калугін, З.В. Білик, В.Б. Матийкін

У роботі проведено виділення рівнів ієрархії інформаційних зв'язків, окремих задач комплексної оцінки осередків ядерного ураження та пов'язуючих їх інформаційних потоків. Аналізуються причинно-наслідкові зв'язки множини основних параметрів, характер залежності між рівнем цінності необхідної інформації та її кількістю в системі радіаційного моніторингу. Апробована методологія кількісної оцінки повного і точного обліку необхідних параметрів у завданні комплексної оцінки осередків ядерного ураження. Авторами пропонується методологія комплексної оцінки осередків ядерного ураження на основі реєстрації та обліку необхідних і достатніх параметрів ядерного вибуху, параметрів середовища і параметрів об'єкта у зоні надзвичайної ситуації.

**Ключові слова:** теоретичні і методологічні основи побудови, надзвичайна ситуація воєнного характеру, радіаційний моніторинг, системно-інформаційний аналіз, осередки ядерного ураження, параметри ядерного вибуху, виявлення і оцінка обстановки.

## USE OF RESULTS IN THE DEVELOPMENT OF THEORETICAL AND METHODOLOGICAL BASES OF CONSTRUCTION RADIATION MONITORING SYSTEM OF EMERGENCIES WHICH HAS A MILITARY NATURE

I.Yu. Cherniavskiy, V.V. Tyutyunik, V.D. Kalugin, Z.V. Bilyk, V.B. Matykin

The work carried out the selection of levels of hierarchy of information links, individual problems of the integrated assessment of nuclear foci and the information flows linking them. The cause-effect relationships of many basic parameters, the nature of the relation between the level of value of the necessary information and its quantity in the radiation monitoring system are analyzed. The methodology of a quantitative assessment of the complete and accurate accounting of the necessary parameters in the problem of a complex assessment of focus of nuclear damage is approved. The authors propose a methodology for a integrated assessment of nuclear foci on the basis of accounting and recording the necessary and sufficient parameters of a nuclear explosion, the parameters of the environment and the parameters of the object in the emergency zone.

**Keywords:** theoretical and methodological bases of construction, emergency situations of a military nature, radiation monitoring, system and information analysis, the focus of nuclear damage, parameters of a nuclear explosion, identification and assessment of the situation.

# Актуальні питання навчання

УДК 378.147:519.83

doi: 10.26906/SUNZ.2018.1.185

С.В. Гадецька<sup>1</sup>, Л.Д. Філатова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «ХПІ», Харків

<sup>2</sup> Харківський навчально-науковий інститут

ДВНЗ «Університет банківської справи», Харків

## МЕТОДИЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ТЕОРІЇ ІГОР В КОНТЕКСТІ ПІДВИЩЕННЯ ПРАКСЕОЛОГІЧНОГО РІВНЯ ЯКОСТІ ЕКОНОМІЧНОЇ ОСВІТИ

*Проведено дослідження проблеми викладання теорії ігор як основи теоретичних моделей сучасної економічної науки. Через методичні особливості такого викладання показано необхідність фундаменталізації математичної підготовки майбутніх фахівців економічного профілю. Зроблено наголос на необхідності наскрізності та спадкоємності математичної освіти для посилення праксеологічного рівня якості економічної освіти*

**Ключові слова:** методична особливість викладання; математична підготовка; теорія ігор; теоретико-ігрова модель, фундаменталізація математичної підготовки.

### Вступ

На початку нового тисячоліття в умовах інформатизації та поширення світових глобалізаційних процесів вітчизняна вища школа зіткнулася з рядом системних викликів.

З одного боку, українські освітні традиції мають глибокі корені та багату культуру, з іншого - світові тенденції соціально-економічного та суспільного розвитку вимагають стратегічних змін у сучасній освіті, яка повинна стати одним із провідних факторів сталого розвитку держави. І саме в цьому контексті виникає цілком закономірне питання про посилення взаємозв'язку між рівнем підготовки майбутнього спеціаліста, пов'язаним з кількістю та якістю знань (когнітивним), і рівнем готовності до їхньої реалізації у практичній діяльності (праксеологічним).

Сучасна педагогічна думка розглядає ці два критерії як головні якісні критерії підготовки студентів [3]. І якщо високий когнітивний рівень підготовки завжди забезпечувався вітчизняними ВНЗ (особливо провідними), то праксеологічний рівень потребує особливої уваги. Адже саме він підвищує роль освіти як соціального, економічного та інноваційного чинника, що забезпечує адаптацію людини у професійній сфері та повсякденному житті, збільшує економічну віддачу висококваліфікованої праці, дає змогу нарощувати інтелектуальний потенціал країни й підвищувати рівень її міжнародної конкурентоспроможності.

У зв'язку з цим постає питання: як побудувати навчальний процес, який би забезпечив студентів праксеологічний рівень готовності до особистісної реалізації у подальшій професійній діяльності?

І яке місце в цьому процесі повинна займати математична підготовка, роль якої в сучасних реаліях важко переоцінити?

Зауважимо, що в вітчизняній освітній практиці останнім часом намітилась небезпечна тенденція до нехтування математичною підготовкою – не тільки професійно спрямованою, але й базовою.

Скорочується обсяг як класичних, так і прикладних математичних дисциплін. І це, не зважаючи на те, що більшість професійно орієнтованих дисциплін, які забезпечують базові знання, ґрунтуються саме на фундаментальній математичній підготовці [2].

Такий підхід руйнує наскрізність та спадкоємність математичної підготовки.

Окрім того, все вищенаведене сьогодні призводить до нівелювання процесу фундаменталізації математичної підготовки, на ствердженні якого наполягає провідна вітчизняна педагогічна спільнота [1, 6].

Отже, бачимо, що все це не тільки принижує роль математичної освіти у професійному становленні майбутніх спеціалістів, а й ставить під загрозу впровадження багатоступеневої системи вищої освіти.

## Постановка проблеми

Особистий багаторічний досвід викладання математичних дисциплін у ВНЗ економічного профілю дозволяє авторам стверджувати, що саме фундаментальна математична підготовка забезпечує майбутнього професіонала надзвичайно потужним дослідницьким інструментарієм для розв'язування реальних прикладних задач. Навчальні дисципліни економіко – математичного спрямування займають центральне місце в системі прикладної математичної підготовки майбутнього економіста. Програми таких дисциплін обов'язково містять теоретико-ігрові розділи. Це не випадково. Ігрова тематика в системі професійної підготовки спеціалістів економічного профілю є принципово значущою. Адже саме математична теорія ігор є основою теоретичних та прикладних моделей сучасної економічної науки у тих випадках, коли класичні економіко – математичні моделі є неефективними.

Це обумовлено специфікою максимінного та мінімаксного підходів – спеціальних підходів, розроблених в середині ХХ століття для розв'язування конфліктних ситуацій.

Вивчення теоретико-ігрових розділів повинно сформувати у майбутніх економістів інструментальні навички моделювання та аналізу стратегічної взаємодії учасників складних економічних процесів.

Сучасні теоретико-ігрові моделі повинні бути присутніми в дослідницькому арсеналі економіста-науковця.

Для цього в процесі їх викладання необхідно виконати три умови:

- дати студентам чітке розуміння основних понять теорії ігор та їх взаємозв'язку;
- розвинути навички розв'язування основних типів задач теорії ігор;
- показати можливості теоретико-ігрового моделювання у вирішенні реальних прикладних задач різних розділів економіки.

Засвоєння матеріалу на такому рівні дасть змогу досягти абсолютного балансу між когнітивним і праксеологічним рівнем підготовки майбутнього економіста.

**Мета статті.** Зважаючи на вищесказане, метою даної статті є аналіз основних методичних особливостей викладання теорії ігор в контексті готовності майбутнього економіста до реалізації у майбутній практичній діяльності.

## Результати досліджень

Ідея особливої ролі ігрових теорій в економіці виникла і отримала подальший розвиток в 20–х роках минулого століття. Перше систематичне

дослідження ігрової тематики було спрямоване на вирішення питань, які не підлягали традиційному трактуванню в рамках домінуючої в той час економічної теорії [4].

Особливе місце серед таких питань займали соціально економічні проблеми і ситуації, що виникали в умовах взаємодії декількох суб'єктів, умовах конкуренції, монополій, соціально – економічних коаліцій. Тобто, виникнення теорії ігор як невід'ємної складової прикладної математики – це своєчасна відповідь на новий клас задач соціально – економічної реальності початку ХХ століття, на нові уявлення про норми, правила та орієнтири соціально – економічної поведінки і соціально – економічної взаємодії, актуалізації ризиків різної природи [5].

В ХХІ столітті основні поняття і положення теорії ігор не тільки не втратили свою методичну і змістовну – наукову актуальність, а й отримали подальший розвиток. В сучасних умовах теоретико-ігрові моделі не лише розкривають нові можливості моделювання і прогнозування економіки, вони лежать в основі математизації різних областей знань.

Наразі філософсько-методологічні питання теорії ігор, такі як взаємозв'язок класичних теоретико-ігрових моделей і концепції раціональної поведінки економічного суб'єкта, концепції рівноваги та корисності, пов'язані саме з розширенням змісту прикладної математичної підготовки сучасного економіста.

Надалі розглянемо методичні особливості викладання теоретико-ігрових розділів з точки зору формування інструментальних навичок застосування таких моделей в прикладних дослідженнях.

В цьому контексті ми виокремили декілька основних методичних особливостей.

**Перша методична особливість** пов'язана з ізолюваністю теоретико-ігрових моделей серед інших моделей дослідження операцій. Така ізолюваність викликана принциповою відмінністю ігрових моделей від класичних економіко – математичних моделей саме дослідженням процесу і результату взаємодії кількох економічних суб'єктів (гравців). Адже ми стикаємось з багатоаспектністю такої взаємодії (наявність коаліцій, антагонізмів, специфічність процесу отримання інформації та ін.).

Ця відмінність надзвичайно ускладнює формалізацію економічної ситуації в вигляді теоретико-ігрової моделі.

Наприклад, для формалізації економічної ситуації у вигляді платіжної функції треба вирішити декілька непростих питань, пов'язаних з наступними завданнями:

справедливістю обмеження на кількість гравців,  
 правильністю визначення множини стратегій гравців,  
 адекватністю вибору кількісних показників виграшу і програшу.

І навіть, якщо економічна ситуація формалізована, подальша ідентифікація моделі так само часто викликає труднощі у студентів. Найчастіше виникають питання стосовно типу гри та методів її розв'язання.

Така особливість дозволяє стверджувати, що в прикладних економіко – математичних дисциплінах теорія ігор заслуговує на особливе місце. Її вивчення повинно бути більш детальним і конкретизованим.

Недопустимим є побіжне згадування теоретико-ігрової тематики як окремого незначного розділу навчальних дисциплін економіко – математичного спрямування.

**Друга методична особливість** обумовлена різноманітністю математичного апарату теорії ігор. Для побудови і аналізу теоретико-ігрових моделей може бути застосований як простий, так і досить складний математичний апарат. Але дуже часто можна зустрітися з непрофесійною думкою про те, що побудова та аналіз будь – якої теоретико-ігрової моделі не вимагає особливих математичних знань.

Це хибна думка. Наприклад, розв'язування матричних ігор в чистих стратегіях за рівнем складності математичного апарату є доступним учню 9 класу загальноосвітньої школи, якщо трактувати розв'язування такої гри як вибір найбільшого і найменшого чисел з декількох та порівняння чисел.

Але простота алгоритму розв'язування гри в чистих стратегіях ніяким чином не пов'язана зі складністю поняття «сідлова точка». З урахуванням введення в шкільний курс математики елементів теорії ймовірностей, розв'язування матричних ігор в змішаних стратегіях можна вважати доступним учням 10 – 11 класів. Але навряд чи школярі глибоко опанували поняття, пов'язані з теоретико – ймовірнісними аспектами гри в змішаних стратегіях.

Якщо говорити про статистичні ігри, то їх розгляд взагалі вимагає залучення спеціальних функцій і узагальнених інтегралів.

Тому у практиці викладання розділу «Теорія ігор» доводиться долати систематичні труднощі теоретичного викладу за допомогою досягнення деякого балансу між простотою і складністю навчального матеріалу.

**Третя методична особливість** логічно слідує з попередньої. Вона пов'язана з використан-

ням математичної символіки і понять в теоретико-ігровому моделюванні. Успішність грамотного залучення математичної символіки і понять інших математичних дисциплін тісно пов'язана саме з наскрізністю та спадкоємністю математичної підготовки.

В якості прикладу наведемо лише основні поняття з базових та прикладних математичних дисциплін в хронологічному порядку їх вивчення:

- «Лінійна алгебра» (матриця, лінійна комбінація, лінійна незалежність, векторний простір, системи лінійних алгебраїчних рівнянь та ін.);
- «Математичний аналіз» (спосіб завдання функції, неперервність, опуклість, сепарабельність функції та ін.);
- «Теорія ймовірностей» (ймовірність випадкової події, закон розподілу випадкової величини, числові характеристики випадкової величини та ін.);
- «Дискретна математика» (елементи комбінаторного аналізу, теорія графів, графи особливого виду та ін.);
- «Оптимізаційні методи та моделі» (теорія подвійності в лінійному програмуванні, симплекс-метод та ін.).

Ця методична особливість свідчить про високий інтеграційний потенціал змісту навчальної дисципліни «Теорія ігор». Наявність перерахованих зв'язків вимагає особливої уваги до математичної підготовки студентів, високий рівень якої може забезпечити тільки її фундаменталізація та спадкоємність.

**Четверта методична особливість** притаманна тільки теоретико-ігровим моделям і носить не тільки методологічний, а й філософський зміст. Вона пов'язана зі складністю і багатоаспектністю проблеми оптимального вибору і проблеми рівноваги.

На наш погляд, ці дві проблеми в рамках теоретико-ігрового моделювання повинні розглядатись як центральні проблеми сучасної економіки. Але на даний момент поняття «рівновага» не має однозначного визначення. Тому оперування цією категорією ускладнює вивчення навчального матеріалу і цілком природньо призводить до виникнення питань такого змісту:

«Чи повинні учасники гри прагнути до стану рівноваги?

Що станеться, коли стану рівноваги буде досягнуто?

Чи у всіх економічних ситуаціях можливий стан рівноваги?

Що робити, якщо в грі рівноважних станів кілька?

Чи є рівноважні стратегії оптимальним вибором гравців? та ін.».



Але наряду з такими закономірними питаннями виникає більш загальне філософське питання: якщо результатом раціональної вигранної поведінки є рівноважний стан, то чому в дійсності ми спостерігаємо соціально – економічну ситуацію, яку наявністю рівноваги охарактеризувати не можна (наявність бідних і багатих, розвинутих країн і країн, що розвиваються, воєн, конфліктів та ін.)?

І саме пошук відповіді на таке питання повинен стати квінтесенцією всього теоретико-ігрового моделювання.

**П'яту методичну особливість** можна назвати програмно – технічною. Вона пов'язана з відсутністю універсального програмного забезпечення для моделювання та візуалізації ігрової взаємодії.

Технічна реалізація теоретико-ігрових моделей значно ускладнюється відсутністю доступного та спеціально розробленого програмного забезпечення, яке б підтримувало усі розділи теорії ігор. А це значно знижує цікавість студентів до теоретико-ігрових моделей.

## Висновки

Без урахування розглянутих основних методичних особливостей неможливо сформулювати системні уявлення студентів економічного профілю про методи і моделі теорії ігор як інструментальної основи прийняття рішень.

Неможливо також повноцінно розкрити філософські, культурно – історичні та прикладні питання моделювання сучасної економіки, розширити уявлення студентів про математичні методи економічних досліджень.

Аналіз методичних особливостей викладання теоретико-ігрових розділів дозволяє також зробити висновок про те, що надійним фундаментом сучасного педагогічного процесу у ВНЗ економічного профілю є фундаменталізація та спадкоємність математичної освіти.

Саме ці два принципи є запорукою підвищення прикладної спрямованості сучасної економічної освіти.

## Список літератури

1. Дутка Г.Я. Фундаменталізація математичної освіти майбутніх економістів: Монографія. – К.: УБС НБУ, 2008. – 478 с.
2. Коржова О.В. Дослідження поняття «професійна спрямованість» у контексті математичної підготовки майбутніх фахівців із організації інформаційної безпеки / О.В. Коржова. // Вісник Черкаського університету. Серія: Педагогічні науки. - 2017. - № 11. - С.53-58.
3. Лосева Н.М. Інтерактивні технології навчання математики: навч.-метод. посіб. для студ. ВНЗ / Н.М. Лосева, Т.В. Непомняца, А.Ю. Панова. – К.: Кафедра, 2012. – 228 с.
4. Фон Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. – М.: Наука, 1970. – 708 с.
5. Оуэн Г. Теория игр. – М.: Вузовская книга, 2008. – 216 с.
6. Ярхо Т.О. Фундаменталізація математичної підготовки майбутніх фахівців технічного профілю у вищих навчальних закладах: монографія / Т.О. Ярхо. - Харків: ФОП Гончаренко В. Ю., 2016. - 284 с.

Надійшла до редколегії 15.01.2018

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.О. Гороховатський, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕОРИИ ИГР В КОНТЕКСТЕ ПОВЫШЕНИЯ ПРАКСЕОЛОГИЧЕСКОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

С.В. Гадецкая, Л.Д. Филатова

*Проведено исследование проблемы преподавания теории игр как основы теоретических моделей современной экономической науки. Через методические особенности такого преподавания показана необходимость фундаментализации математической подготовки будущих специалистов экономического профиля. Сделан упор на необходимости непрерывности и преемственности математического образования для усиления прaxeологического уровня качества экономического образования.*

**Ключевые слова:** методическая особенность преподавания; математическая подготовка; теория игр; теоретико-игровая модель, фундаментализация математической подготовки.

## METHODICAL FEATURES OF TEACHING GAME THEORY IN THE CONTEXT OF INCREASING THE PRAXEOLOGICAL LEVEL OF QUALITY OF ECONOMIC EDUCATION

S.V. Gadetska, L.D. Filatova

*The research of the problem of teaching game theory as the basis of theoretical models of modern economic science is conducted. Through the methodological peculiarities of such teaching, the necessity of fundamentalizing of the mathematical training of future specialists in the economic profile is shown. The need for continuity and succession of mathematical education for strengthening of the praxeological level of the economic education quality is emphasized.*

**Keywords:** methodical feature of teaching; mathematical training; game theory; theoretic – game model, the fundamentalization of mathematical training.

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Андреев С.М.	3	Мелешко Є.В.	131
Бабіч С.М.	89	Могілатенко А.С.	21
Балакірева С.М.	36	Оберемок С.О.	28
Берднік П.Г.	8	Обідін Д.М.	21
Бесова О.В.	40	Обод І.І.	32
Білик З.В.	176	Одокієнко О.В.	59
Богодист А.О.	170	Остроумов І.В.	12
Бойко Д.С.	99	Павленко М.А.	36
Бондарчук А.П.	44	Павлюк В.М.	153
Вишнівський В.В.	44	Панкратова Ю.Є.	80
Вовк О.О.	170	Пацук В.М.	80
Гаврилко Є.В.	48, 84	Петров О.В.	36
Гадецька С.В.	185	Петровська Д.О.	84
Голуб М.А.	99	Петровський О.М.	84
Гороховатський В.О.	93	Пупченко Д.В.	93
Гриньов Д.В.	89, 99	Резнік Д.В.	170
Дубницький В.Ю.	69	Рубан І.В.	146
Єрмілова Н.В.	48	Руденко В.М.	21
Жилін В.А.	3	Свиридов А.С.	137
Зачепа Ю.В.	170	Семенов С.Г.	131
Іванець Г.В.	160	Серих С.О.	44
Ільїн Д.О.	105	Сисоєнко С.В.	141
Ільїна І.В.	105	Сідоров С.Є.	84
Кадубенко Д.С.	105	Солодченко К.Г.	93
Калугін В.Д.	176	Степанов Г.С.	52
Караєва Н.В.	164	Стецюк Є.І.	160
Карлов В.Д.	40	Стрельницький О.О.	32
Катков Ю.І.	44	Ткачук Б.В.	153
Кислиця С.Г.	48	Толкунов І.О.	160
Кобилін А.М.	69	Томашевський Р.С.	153
Кобилін О.А.	69	Топчий А.С.	3
Коваленко А.А.	110	Тютюник В.В.	176
Коваленко О.В.	114	Філатова Л.Д.	185
Козловська С.Г.	127	Хижняк І.А.	146
Кондратенко О.П.	21	Хлуд О.М.	80
Костюк І.А.	52	Хох В.Д.	131
Кучук Г.А.	110	Худов В.Г.	146
Кучук Н.Г.	123	Худов Г.В.	146
Лада Н.В.	127	Ченчевой В.В.	170
Лукашук О.В.	40	Чернявський І.Ю.	176
Лукова-Чуйко Н.В.	123	Чорний О.П.	170
Луцишин А.М.	52	Шапран Ю.Є.	8
Лютенко В.Є.	74	Шефер О.В.	64
Маковейчук О.М.	146	Щапов П.Ф.	153
Мальцев О.С.	17	Яковенко А.М.	74
Матикін В.Б.	176		

Наукове видання

## **СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ**

Збірник наукових праць

Випуск 1 (47)

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. Ільїна*

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

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 23,75. Тираж 150 прим. Зам. 208-18

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.  
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.  
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34  
e-mail: [bookfabrik@mail.ua](mailto:bookfabrik@mail.ua)