



# СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

1(53) ' 2019

Заснований  
у 2007 році

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

**Засновник:**

Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка

**Адреса редакційної колегії:**

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

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

**E-mail:**

kozelnkova@ukr.net

**Інформаційний сайт:**

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

**Реферативна інформація**

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

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

**Голова:**

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

**Заступники голови:**

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

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

**Члени:**

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

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

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

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

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

**Відповідальний секретар:**

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

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

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

*Затверджений до друку вченою радою Полтавського національного технічного університету  
імені Юрія Кондратюка (протокол від 05 лютого 2019 року № 11)*

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

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

## З М І С Т

### НАВІГАЦІЯ ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

<i>Андреев С. М., Жилин В. А.</i> Застосування даних аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів для побудови 3D-моделей місцевості .....	3
<i>Бутенко О. С., Цвященко К. А., Буравченко К. О., Нікітін А. А.</i> Оптимізація процесу вибору місця розташування сонячних електростанцій з використанням ГІС-аналізу .....	17
<i>Кочкарь Д. А.</i> Информационная технология создания наземных систем мониторинга лесных пожаров с использованием моделей цифровых карт .....	22
<i>Подліпас В. О., Шумейко В. О., Атрасевич О. В., Хижняк І. А.</i> Створення мобільної автоматизованої системи збору геопросторових даних та ведення геопросторового аналізу для вирішення завдань національної безпеки і оборони .....	27

### КОНТРОЛЬ КОСМІЧНОГО ТА ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ

<i>Глива В. А., Ніколаєв К. Д., Тихенко О. М., Тимошенко О. П.</i> Дослідження рівнів фізичних факторів у приміщеннях диспетчерських служб аеропортів цивільної авіації .....	32
<i>Гришманов С. А., Могілатенко А. С., Данілов Ю. А.</i> Розробка інформаційної технології автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті .....	36
<i>Сторчак В. С., Руденко В. М.</i> Оцінка ефективності тренажерів для підготовки диспетчерів управління повітряним рухом .....	41

### УПРАВЛІННЯ В СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

<i>Боряк Б.Р.</i> Порівняльний аналіз якості фільтрації і прогнозування двоконтурного і триконтурного адаптивних експоненціальних фільтрів .....	45
<i>Єрмілова Н.В., Кислиця С.Г., Тарасюк Р.М.</i> Розроблення автоматизованої системи керування обладнанням овочесховища на базі нечітких нейронних мереж .....	50
<i>Запаловський М. Й., Мезенцев М. В., Скородєлов В. В.</i> Дослідження системи керування електропередачі дизель-поїзда та уточнення її структури .....	55
<i>Карлов В. Д., Кузнєцов О. Л., Артеменко А. М., Карлов А. Д.</i> Помилка вимірювання радіальної швидкості цілі внаслідок впливу флуктуацій початкових фаз радіоімпульсів пачки .....	60
<i>Кононов Б. Т., Мусайрова Ю. Д., Матвієнко А. А.</i> Використання часових булевих функцій для побудови удосконалених пристроїв релейного захисту, автоматичного управління і діагностики обладнання систем електропостачання .....	65
<i>Коржов І. М., Шапов П. Ф., Мигуценко Р. П., Кропачек О. Ю.</i> Оцінка та дослідження чутливості, дискримінуючих та діагностичних властивостей показників автокогерентності .....	70
<i>Кузавков В. В., Редзюк Є. В.</i> Діагностична модель вихідного транслятора напівпровідникової інтегральної схеми .....	77
<i>Кулик А. С., Дергачев К. Ю., Пасичник С. Н., Немшилов Ю. А.</i> Стабілізація неустойчивых состояний обратного маятника с винтовыми электроприводами .....	81
<i>Левченко Л. О., Багрій М. М.</i> Методи попереднього оцінювання електромагнітної обстановки для проектування засобів захисту .....	90
<i>Лісогорський Б. А., Таран І. А., Худов Г. В.</i> Імітаційне статистичне моделювання траєкторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі контрбатареїної боротьби .....	94
<i>Трищ Р. М., Денисенко А. Н., Черняк Е. Н.</i> Метод определения закона распределения показателей качества изделий, как случайной величины .....	99

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Андрашов А. А., Гордеев А. А., Коваленко А. А., Харченко В. С.</i> Метрическое оценивание управления выполнением требований к программному обеспечению ИУС АЭС для V-образной модели жизненного цикла .....	103
<i>Гавриленко С. Ю.</i> Розробка методу ідентифікації аномального стану комп'ютерної системи на основі нечіткої логіки .....	107
<i>Демиденко М. І.</i> Мобільний навчальний комплекс .....	112
<i>Льїн Д. О., Семенов С. Г.</i> Аналіз та порівняльне дослідження архітектурних рішень програмних робіт для процесів з великою кількістю транзакцій .....	116
<i>Краснобаев В. А., Янко А. С., Філь І. В.</i> Аналіз методів реалізації арифметичних операцій у класі лишків .....	120
<i>Нікітіна Т. С., Морозова О. І.</i> Порівняльний аналіз продуктивності баз даних SQL та NOSQL .....	125
<i>Nesterenko K., Rahulin S., Syroizhka I., Dmitriev O., Zhivitsky N., Sharabaiko A.</i> The application of information technologies during maintenance to ensure the reliability of the operation of aviation equipment .....	129
<i>Тецький А. Г.</i> Аналіз проблем і можливостей забезпечення безпеки WEB-застосунків, створених за допомогою систем керування вмістом .....	133

### ЗВ'ЯЗОК

<i>Глоба Л. С., Романов О. І., Суліма С. В.</i> Метод реконфігурації мережі зв'язку з віртуалізованими ресурсами .....	137
<i>Hordiichuk V., Sergienko V., Mishchenko A., Shyshatskyi A., Pozdniakov P.</i> Analysis of technical characteristics of the radioelectronic intelligence of the Russian Federation .....	142
<i>Князев О. А.</i> Оцінка результативності впровадження комплексних систем фільтрації контенту .....	147
<i>Сакович Л. М., Криховецький Г. Я., Небесна Я. Е.</i> Оцінка надійності багаторежимних технічних об'єктів .....	153
<i>Сальников Д. В., Васильченков О. Г.</i> Модифицированный медианный фильтр с пост фильтрационным принятием решения .....	158
<i>Yakhno I., Maluk O., Hatsenko S., Shyshatskyi A.</i> Foundation of the factors affecting the planning and management of the radioelectronic development .....	162

<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	168
----------------------------------	-----

С. М. Андрєєв, В. А. Жилін

Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

## ЗАСТОСУВАННЯ ДАНИХ АЕРОФОТОЗЙОМКИ З БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ 3D-МОДЕЛЕЙ МІСЦЕВОСТІ

**Предметом дослідження** є методика побудови 3D-моделей місцевості на базі даних, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА). **Об'єктом дослідження** є процес створення 3D-моделей місцевості, цифрових моделей рельєфу, ортофотопланів, звітів з параметрами реконструкції місцевості та параметрами зйомочної камери із використанням сучасного спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) — сучасних цифрових фотограмметричних систем (ЦФС). **Метою роботи** є підвищення інформативності та актуалізації геоданих за допомогою методики створення фотограмметричних 3D-моделей місцевості на основі інформації, отриманої по знімках з БПЛА, а також відеоматеріалів об'єктів місцевості. Задля досягнення поставленої мети вирішено такі часткові задачі: виконання аналізу сучасних засобів отримання та обробки аерофотоінформації з точки зору можливості їх застосування для 3D-моделювання ситуації на місцевості; визначення основних фотограмметричних параметрів для побудови вимірювальних 3D-моделей місцевості; розробка технологічних схем побудови фотограмметричних 3D-моделей місцевості на основі комплексного використання просторових даних; розробка методики побудови 3D-моделей місцевості на базі отриманих даних за допомогою БПЛА. **Висновки:** виконано аналіз та вибір ПЗ, що задовольняє вимогам щодо застосування для 3D-моделювання ситуації на місцевості за даними з БПЛА; визначено основні фотограмметричні параметри для побудови вимірювальних 3D-моделей місцевості за даними з БПЛА (сценарій зйомки для різних об'єктів; роздільна здатність; тип об'єктиву; параметри калібрування фотокамери); розроблено технологічні схеми побудови фотограмметричних 3D-моделей місцевості на основі комплексного використання просторових даних аерофотозйомки та відеоданих; розроблено методичні рекомендації для побудови 3D-моделей місцевості за даними відео- та фотозйомки, отриманими з різних видів БПЛА; на підставі проведених досліджень розроблено методику побудови 3D-моделей місцевості на базі даних, отриманих за допомогою БПЛА. Методика дозволяє створювати 3D-моделі місцевості, цифрові моделі рельєфу, ортофотоплани, звіти з параметрами реконструкції місцевості та параметрами зйомочної камери. Запропоновану методику апробовано при побудові 3D-моделей місцевості реальних об'єктів: база відпочинку “Мис Доброї Надії” в Полтавській області, студентський ґуртожиток Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського (ХАІ), територія Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна, піщаний кар'єр в Полтавській області.

**Ключові слова:** БПЛА, 3D-модель місцевості, цифрові моделі рельєфу, ортофотоплан, хмара точок триангуляції.

### Вступ

В останні роки в багатьох галузях потреба у відомостях про місцевість вже не задовольняється використанням тільки топографічних карт в аналоговому і цифровому видах. Для вирішення ряду інженерних задач потрібна детальна інформація про просторове положення та висоти об'єктів.

Джерелами для моделювання цифрових моделей служать картографічні матеріали, аерофото- і космознімки, а також дані польових зйомок [1, 2]. При цьому аерофотозйомка з БПЛА має безліч переваг у порівнянні з отриманням даних за допомогою космічних супутників і пілотованих атмосферних літальних апаратів. Основні передумови цих переваг — оперативність отримання фотознімків, можливість зйомки з невеликих висот, а також у зонах надзвичайних ситуацій без ризику для життя і здоров'я пілотів. Звичайно, при аерофотозйомці з БПЛА слід враховувати ряд параметрів, що мають вплив на подальшу фотограмметричну обробку (висота зйомки, швидкість польоту, кутових еволюцій, використання не метричних побутових камер, тощо) [3]. Проте запропонована тут методика обробки даних, отриманих з БПЛА, дозволить фахівцям різних галузей створювати моделі, що задовольняють їх

потребам у точності відтворення геопростору. Такі моделі є цифровим тривимірним відображенням території, адже тривимірне моделювання є однією з основних сучасних функцій ГІС. Взагалі, у геоінформації тривимірне моделювання є різновидом геоінформаційного моделювання і, на відміну від класичного представлення об'єктів території за допомогою пласких карт, дозволяє відобразити специфіку об'єкта досліджень і більш наглядно і змістовно співвіднести його з навколишніми об'єктами та місцевістю [5, 6]. Тривимірне моделювання дозволяє розглядати об'єкт в реальному взаємозв'язку з навколишнім середовищем і оперативно приймати безпомилкові рішення.

Таким чином, удосконалення тривимірного просторового моделювання територій із застосуванням даних аерофотозйомки з БПЛА є актуальною задачею сучасного розвитку технологій ГІС.

**Постановка задачі.** Істотним кроком в розширенні сфери використання 3D-моделей стала можливість створення вимірювальних 3D-моделей, тобто можливість представлення просторової інформації в заданій системі координат і вимірювання координат окремих точок цієї моделі. Швидко розвивається новий напрям — 3D-ГІС, що дає принципово нові можливості для роботи з інформацією про на-

вколишнє середовище. Для формування 3D-ГІС потрібно, в першу чергу, створити реалістичні фотограмметричні 3D-моделі місцевості.

Просторову інформацію про об'єкти місцевості можна отримати по геодезичним вимірам, на основі використання топографічних карт і результатів лазерного сканування. Однак, найбільш повну та оперативну інформацію для створення 3D-моделей місцевості можна отримати в результаті фотограмметричної обробки аерофотознімків [7, 8].

У теперішній час інтенсивно виконуються практичні роботи по створенню 3D-моделей місцевості, але багато питань, пов'язаних з отриманням даних з аерофотознімків досі не вирішені.

У зв'язку з цим існує гостра необхідність в проведенні досліджень щодо розробки методик отримання інформації з аерофотознімків для створення 3D-моделей місцевості.

**Метою даної роботи** є підвищення інформативності та актуалізації геоданих за допомогою методики створення фотограмметричних 3D-моделей місцевості на основі інформації, отриманої по знімках з БПЛА, а також відео матеріалів об'єктів місцевості.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі часткові задачі:

- виконання аналізу сучасних засобів отримання та обробки аерофотоінформації з точки зору можливості їх застосування для 3D-моделювання ситуації на місцевості;

- визначення основних фотограмметричних параметрів для побудови вимірювальних 3D-моделей місцевості;

- розробка технологічних схем побудови фотограмметричних 3D-моделей місцевості на основі комплексного використання просторових даних;

- розробка методики побудови 3D-моделей місцевості на базі отриманих даних за допомогою БПЛА.

## Результати досліджень

**1. Порівняльний аналіз програмного забезпечення для фотограмметричної обробки даних з БПЛА.** Паралельно з ростом інтересу до зйомки за допомогою БПЛА зростає і кількість новин від розробників сучасних цифрових фотограмметричних систем (ЦФС) про появу в їх програмних продуктах спеціальних алгоритмів і наборів функцій якраз для роботи з геоданими. Серед широко відомих ЦФС одними з найбільш продуктивних є такі програмні продукти [ 9–12]:

- ENVI OneButton;
- Trimble INPHO;
- Agisoft PhotoScan.

Кожен із представлених продуктів по обробці даних з БПЛА мають ряд відмінностей один від одного, що ускладнює вибір якогось окремого програмного забезпечення. Основні переваги кожного із зазначених програмних продуктів представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні переваги найбільш продуктивного ПЗ, що дозволяє виконувати фотограмметричну обробку

ENVI OneButton	Trimble INPHO	Agisoft PhotoScan
Підтримка сенсорів будь-яких форматів.	Локалізований російськомовний інтерфейс.	Висока точність і виняткова деталізація результату.
Підтримка мультиспектральних зображень.	Строге математичне моделювання.	Швидка обробка великих наборів даних.
Унікальний алгоритм блочного зрівнювання для точного геопозиціонування зображень із креном і зображень в надир.	Чітко вибудований робочий процес.	Створення звітів, що показують властивості проекту, результати обробки, статистику, аналіз покриття зображеннями, карту кореляції зображень і результати калібрування камер.
Підтримка даних з будь-яких камер (від аматорських до професійних).		Повністю автоматичне зшивання зображень в єдину мозаїку, вирівнювання за кольором.
		Створення високоточних ортофотопланів та цифрових моделей місцевості.

Таким чином, для виконання задач фотограмметричної обробки даних з БПЛА доцільно вибрати Agisoft PhotoScan.

**2. Методика побудови 3D-моделі місцевості за даними фото- та відеозйомки з БПЛА.** PhotoScan може обробляти фотографії, зняті будь якою цифровою камерою. Аналіз проведених досліджень показав, що для отримання більш якісних результатів при зйомці необхідно дотримуватись таких вимог [13]:

- фотографії повинні мати досить високу роздільну здатність (5 Мпкс і більше);

- ширококутні об'єктиви дають більше інформації, ніж телеоб'єктиви; отримані з їх допомогою фотографії краще підходять для знаходження відповідностей між об'єктами на різних кадрах;

- недопустимі пласкі і не текстуровані об'єкти і сцени;

- недопустимі прозорі та дзеркальні об'єкти;

- зйомку блискучих об'єктів необхідно проводити в хмарну погоду;

- знімки треба виконувати з великим перекриттям;

- найбільш важливі деталі необхідно знімати з трьох та більше ракурсів;

- для побудови відносної системи координат з метою відтворення тривимірної моделі, необхідно використовувати наземні маркери, за якими і буде побудовано відносну систему координат та відтворено масштаб;

- PhotoScan використовує тільки вихідні зображення, тому неприпустимо попередньо змінювати розмір або геометрію кадрів, тобто перетворювати чи інакше змінювати розмір зображення.

- для отримання якісної моделі місцевості не-

обхідно дотримуватись таких сценаріїв під час фотографування різних об'єктів місцевості, що наведено на рис. 1.

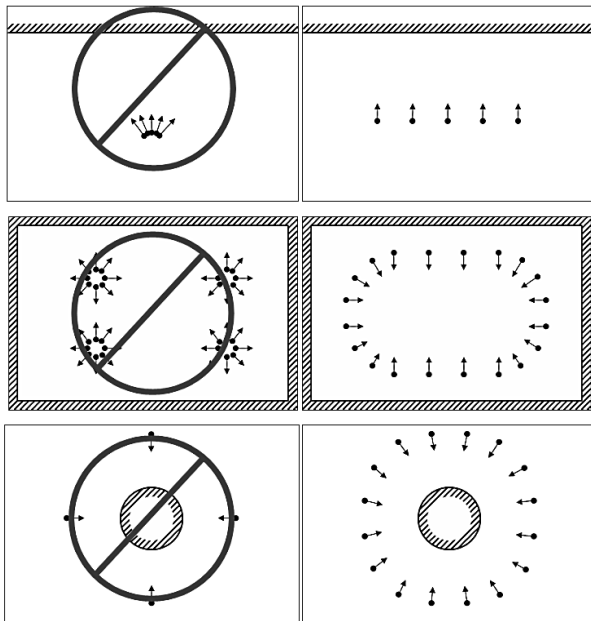


Рис. 1. Сценарії зйомок об'єктів місцевості

У деяких випадках створення правильної 3D-моделі сильно ускладнюється аж до неможливості проведення подібної операції.

Дана ситуація виникає при допущенні помилок у наступному.

При розрахунку поля зору для кожної фотографії PhotoScan використовує інформацію, збережену в EXIF-даних. Наявність EXIF-даних є запорукою отримання найбільш адекватної 3D-реконструкції. Однак, можна зробити відновлення тривимірної моделі і без таких даних. Тоді PhotoScan спробує поєднати кадри відповідно до припущення, що фокусна відстань для всіх знімків відповідає 50 мм (в еквіваленті 35 мм ширини плівки). Якщо ж реальне фокусна відстань значно відрізняється від 50 мм, поєднання кадрів призведе до помилкового результату.

Дисторсія використовуваного об'єктива повинна відповідати моделі Брауна. Інакше побудова точної тривимірної моделі стає майже неможливим. Об'єктиви з ультрашироким кутом огляду та об'єктиви типу "риб'яче око" зазвичай не відповідають зазначеній моделі дисторсії і можуть створювати неточності при відтворенні 3D-моделей місцевості.

Таким чином, основними фотограмметричними факторами, що визначають точність відтворення 3D-моделі місцевості є:

- сценарій зйомки для різних об'єктів;
- висока роздільна здатність;
- тип об'єктиву;
- калібрування фотокамери.

На рис. 2 наведено узагальнену методику побудови 3D-моделі місцевості за даними фото- та відеозйомки з БПЛА.

Програма Agisoft PhotoScan – універсальний інструмент для генерації тривимірних моделей поверхонь об'єктів зйомки по фотозображеннях цих

об'єктів. PhotoScan з успіхом застосовується як для побудови моделей предметів і об'єктів різних масштабів (від мініатюрних археологічних артефактів до великих будівель і споруд), так і для побудови моделей місцевості за даними аерофотозйомки і генерації матриць висот і ортофотопланів, побудованих на основі цих моделей. Обробка даних в PhotoScan гранично автоматизована — на оператора покладено лише функції контролю і управління режимами роботи програми.

Побудова і прив'язка моделі місцевості в програмі складається з трьох основних етапів.

1. Побудова грубої моделі. На цьому етапі проводиться автоматичне визначення спільних точок на знімках, що перекриваються; відтворення променів, що утворюють проекцію; визначення координат центрів фотографування та елементів взаємного орієнтування знімків; розрахунок параметрів, що описують оптичну систему (дисторсія, коефіцієнт асиметрії, положення центральної точки). Всі ці розрахунки виконуються в програмі за одну операцію.

2. Прив'язка отриманої моделі до зовнішньої (геодезичної, географічної) системи координат і зрівнювання всіх параметрів системи (координат центрів фотографування і наземних опорних точок, кутів орієнтування знімків, параметрів оптичної системи з використанням параметричного методу зрівнювання. У якості вагових коефіцієнтів для зрівнювання виступають похибки визначення координат точок зйомки (центрів фотографування), похибки визначення координат точок наземної опорної мережі, а також похибки дешифрування і маркування опорних точок на знімках.

3. Побудова полігональної моделі поверхні місцевості на основі певних на попередньому етапі параметрів. У програмі реалізований експрес-спосіб, що полягає в триангуляції тільки спільних точок, отриманих на першому етапі, і більш точні способи обробки, які полягають у визначенні просторового положення для кожного пікселя зображення (в залежності від заданого ступеня деталізації обробляється кожен перший, кожен четвертий, кожен шістнадцятий, — всього п'ять можливих рівнів).

З точки зору оператора процес роботи з програмою виглядає таким чином [14]:

1. Завантаження фотознімків. PhotoScan підтримує такі формати фотографій: JPEG, TIFF, PNG, BMP, PPM, OpenEXR, JPEG Multi-Picture Format (MPO).

2. Вибір системи координат і завантаження даних прив'язки центрів фотографування. Прив'язка моделі в необхідній системі координат може виконуватися за координатами центрів фотографування (КЦФ).

3. Формування точкової моделі поверхні Землі. На цьому етапі виконується повторний пошук спільних точок, і визначення їх положення. Оскільки параметри взаємного орієнтування знімків вже відомі з достатньою точністю, можна звузити область пошуку спільних точок і підвищити достовірність визначення їх відповідності. Щільність результуючої хмари точок при цьому виявляється досить високою — в най-

більш детальному режимі побудови щільної хмари графій, і для всіх пікселів визначається положення аналізується буквально кожен піксель вихідних фото- відповідних їм точок на місцевості.

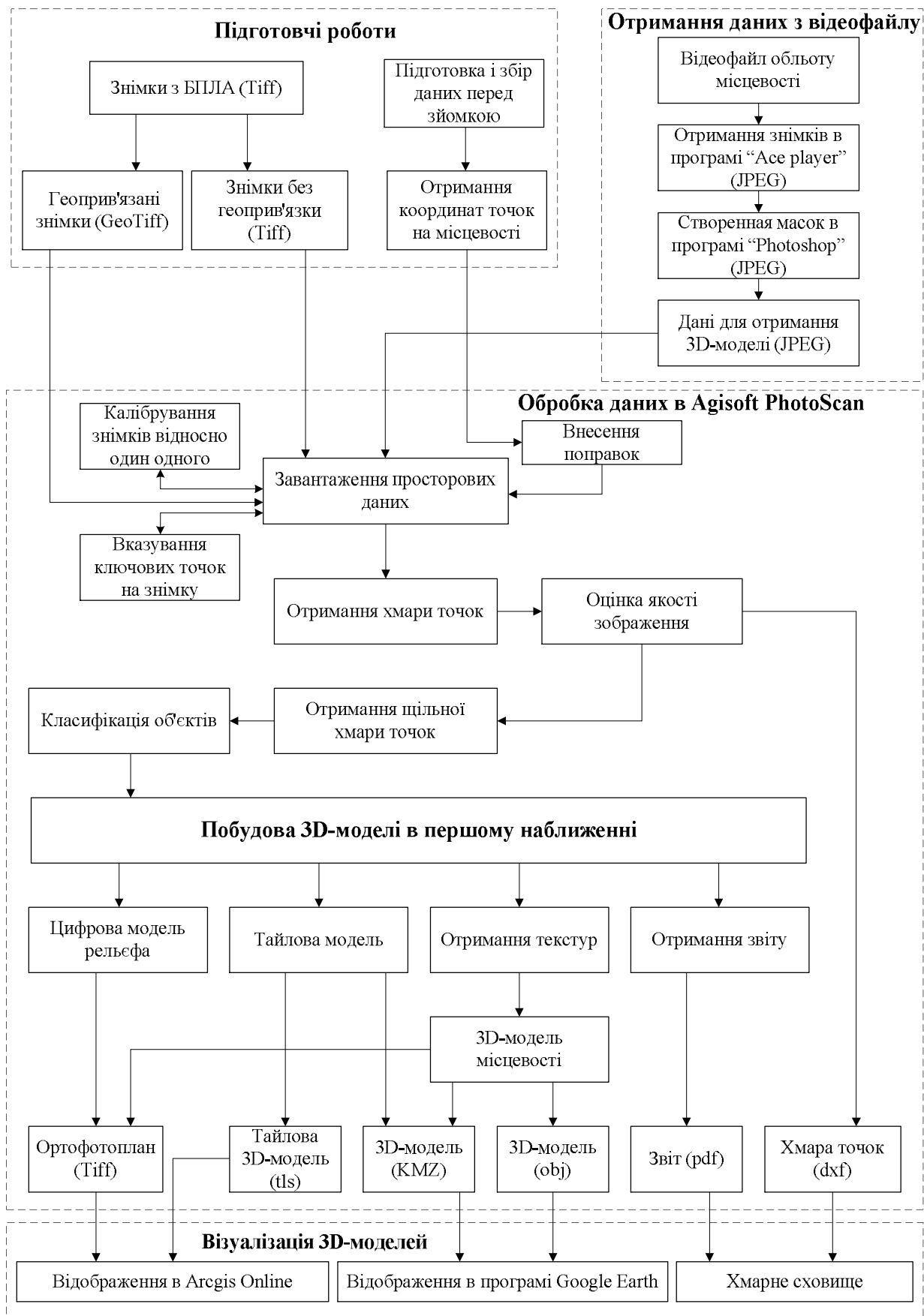


Рис. 2. Структурна схема методики побудови 3D-моделі місцевості за даними фото- та відеозйомки з БПЛА

4. Установка відміток опорних точок на фото-знімках і завантаження координат точок опорної мережі (за наявності наземної опорної мережі). Дані для прив'язки можуть бути завантажені як до зрівнювання, так і після. Зазвичай КЦФ завантажують разом зі знімками і використовуються на етапі зрівнювання, а координати наземних точок завантажуються після формування первинної моделі, і по ним проводиться точна прив'язка.

5. Оптимізація моделі (зрівнювання параметрів прив'язки). По суті цей етап є строгим зрівнюванням параметрів орієнтування знімків. Виконується на основі даних про положення центрів фотографування і наземних опорних знаків. Може виконуватися як з фіксованими параметрами калібрування камери, так і з вільними. У другому випадку є аналогом зрівнювання з самокалібруванням.

6. Генерація полігональної моделі поверхні Землі. Побудова цифрової моделі місцевості (матриці висот) і ортофотоплану в PhotoScan проводиться з використанням полігональної моделі місцевості. Модель формується на основі щільної хмари точок триангуляції по точкам. Певна частина точок при цьому фільтрується.

7. Експорт даних (ортофотоплан, матриця висот) та формування полігональної моделі місцевості. На підставі побудованої полігональної моделі місцевості виконується вибір ділянок вихідних знімків (відповідних окремим полігонам моделі) і проектування їх на задану поверхню. При експорті можна вибрати тип проектування, систему координат, задати роздільну здатність ортофото і кордони області експорту.

Стосовно експорту матриці висот, у даний час в програмі PhotoScan реалізовано експорт моделі поверхні тільки у вигляді регулярної сітки. Разом із цим, крім ортофото і матриці висот, які зазвичай представляють найбільший інтерес в контексті картографічної діяльності, програма надає можливість експортування таких результатів обробки:

- координати центрів фотографування, параметри орієнтування знімків та координати маркерів (марок опорних, тобто контрольних точок);

- параметри калібрування камер, розраховані при обробці;

- 3D-модель в одному з таких форматів: Wavefront OBJ (.obj), 3DS models (.3ds), VRML (.wrl), COLLADA (.dae), Stanford PLY (.ply). Autodesk DXF (.dxf), U3D models (.u3d), Adobe PDF (.pdf);

- хмара точок (як розріджена, так і щільна) у таких форматах: Wavefront OBJ (.obj). Stanford PLY (.ply), XYZ point cloud (.txt), ASPRS LAS (.las);

- елементи орієнтування камер у таких форматах: PhotoScan XML (.xml). Bundler (.out), CHAN files (.chan), Bonjour (.txt), Omega Phi Kappa (.txt);

Окремо слід зазначити про можливість експорту створеної картографічної моделі для обробки в сторонніх програмах та зворотного імпортування її в PhotoScan. Врешті отримана модель може бути використаною для генерації ортофотопланів та матриць висот.

В результаті обробки знімків в програмі PhotoScan можна отримати текстуровану поверхню (рис. 3), матрицю висот (рис. 4), 3D-модель місцевості (рис. 5), ортофотоплан (рис. 6), а також хмару точок (рис. 7).



Рис. 3. Текстурована поверхня (Mesh)

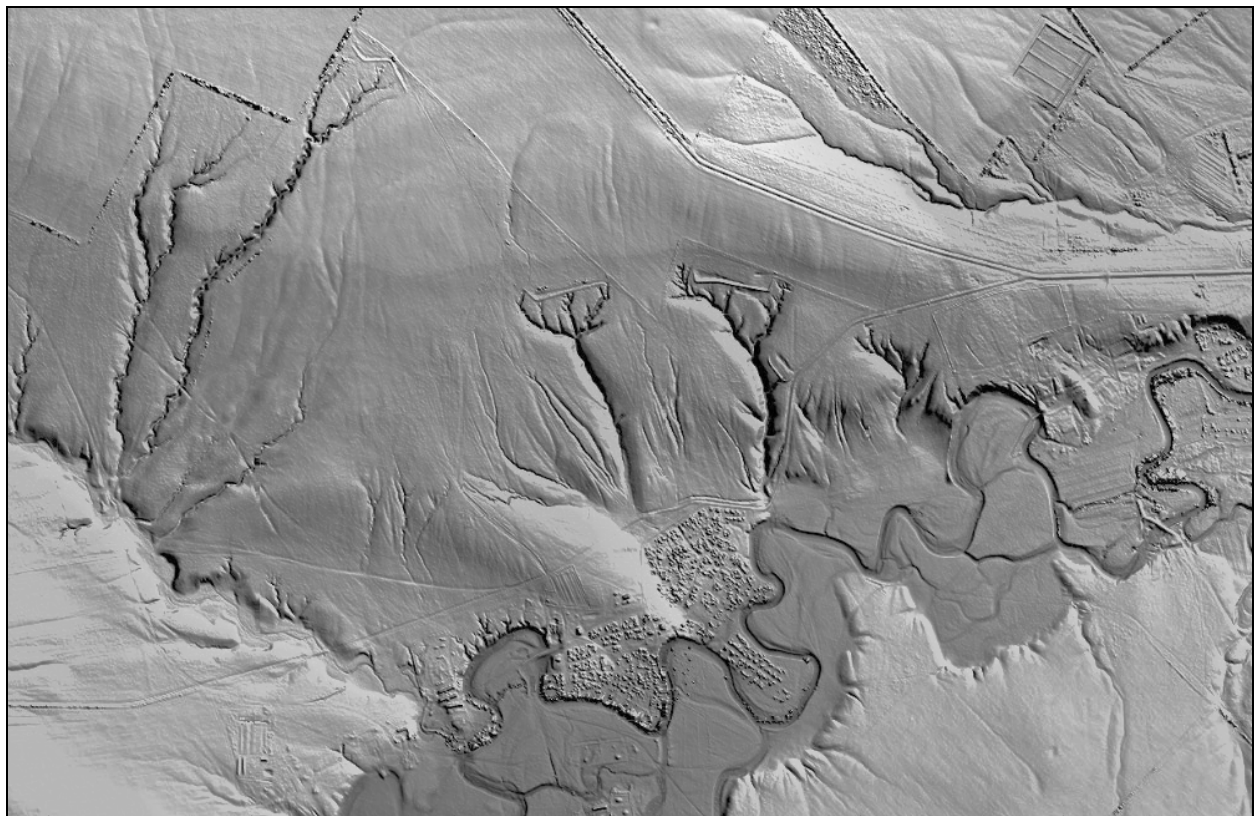


Рис. 4. Матриця висот з відмивкою рельєфу (Grid)

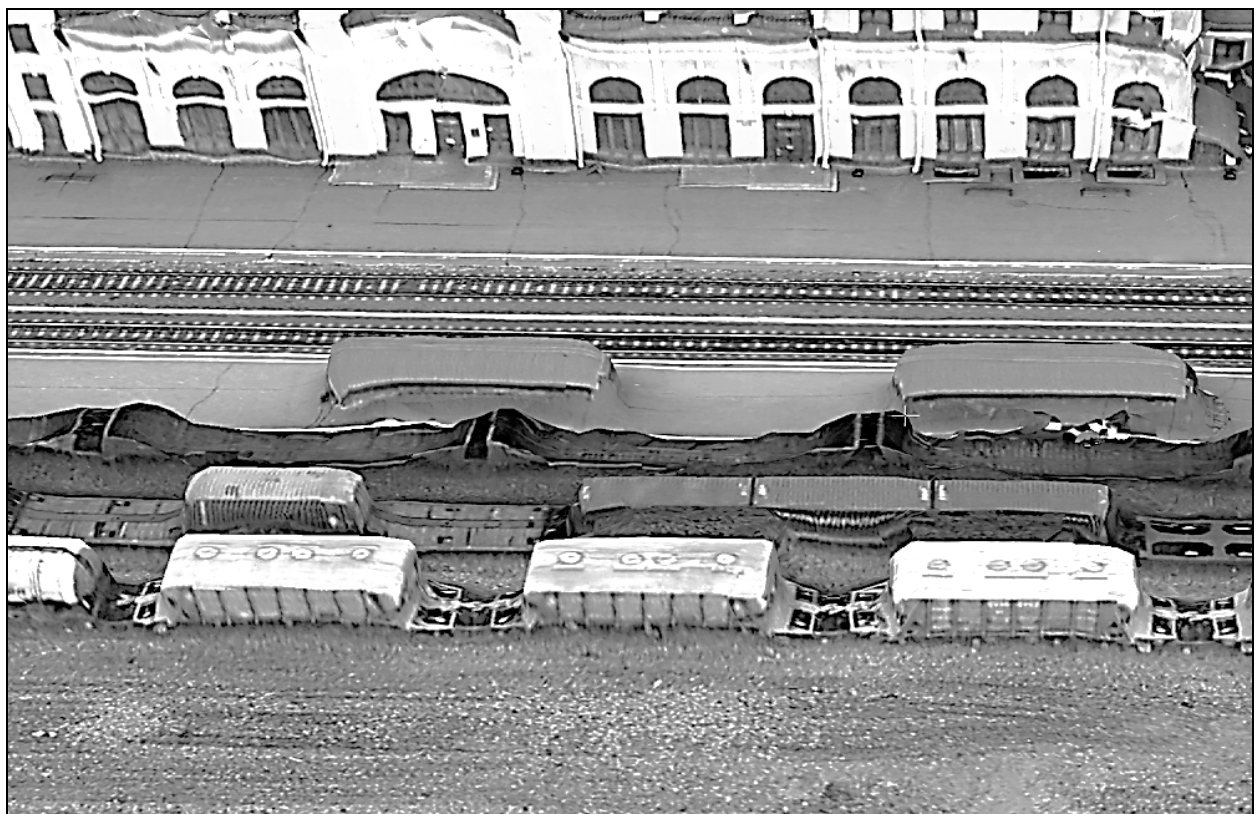


Рис. 5. 3D-модель місцевості (Obj)

Отримані моделі місцевості дозволяють використовувати їх в інших сумісних програмних продуктах, а також підтримують можливість завантаження на WEB-ресурси.

**3. Методика побудови 3D-моделей місцевості на основі захоплених кадрів з відеофайлу обльоту місцевості.** При створенні моделі використовуючи дану методику потрібно розуміти, що дані отримані

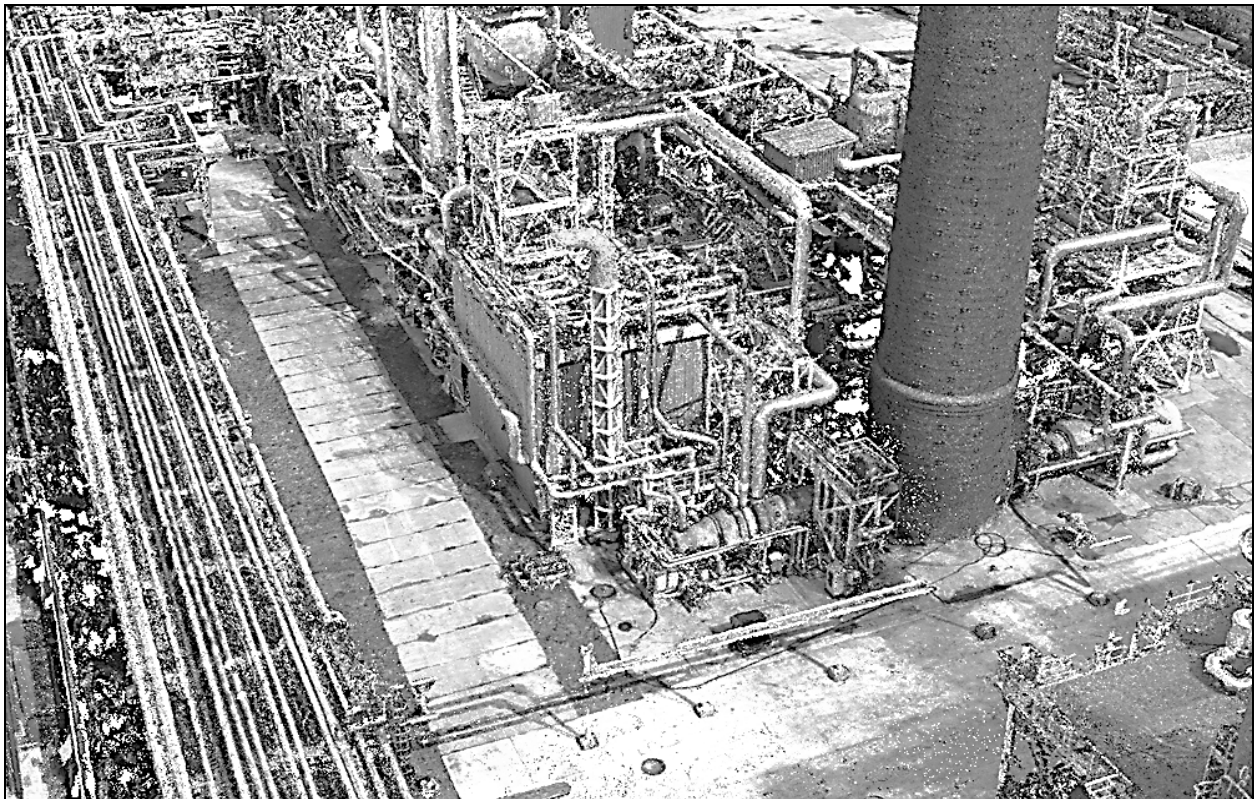


даним чином значно поступаються в якості ніж дані отримані за допомогою фотознімків, що мають геоприв'язку.

Алгоритм створення 3D-моделі місцевості на основі захоплених кадрів з відео складається з чотирьох основних етапів:



**Рис. 6.** Ортофотоплан (Tiff)



**Рис. 7.** Щільна хмара точок (Las)

– знаходження відеофайлів об'єктів необхідної місцевості;

– створення масок для подальшої обробки (деякі відео можуть мати цифрові підписи);

- виконання захвату кадрів з відеофайлу;
- створення 3D моделі місцевості.

Для збільшення якості отримання кінцевої моделі необхідно використовувати відео із максималь-

ним просторовим розширенням (HD, FullHD). Крім того, обліт місцевості повинен бути виконаний правильно з урахуванням фотограмметричних вимог (рис. 8).



Рис. 8. Відеоряд кадрів з правильним ракурсом камери

Захват кадрів відбувається в програмному забезпеченні "Ace Stream". Ace Stream - це інноваційна мультимедійна платформа нового покоління, яка включає в себе різноманітні продукти і рішення, як для звичайних користувачів інтернету, так і для професійних учасників мультимедійного ринку. Дана програма дозволяє виконувати захват кадрів з відео з високим просторовим розширенням.

Програваач підтримує багато різних форматів:

- аудіофайли - .mp3, .pls, .ogg, .cda, .wav, .m4b, .kar, .m3u, .aac, .aa, .mpa, .aif, .spx, .wax, .mid;
- відеофайли - .wmv, .avi, .vob, .3gp, .mpg, .xvid, .wpl, .mxf, .mpeg, .vp6, .asf, .mcf, .ogv, .m1v;
- файли плагінів - .ax;
- файли налаштувань - .rgx;
- файли з даними - .wmdb.

Принцип отримання кадрів такий же, як і при фотографуванні в режимі звичайної аерофотозйомки. Кадри повинні мати взаємне перекриття. Після отримання кадри, якщо це необхідно, обробляються в будь-якому достатньому функціональному графічному редакторі, наприклад Adobe Photoshop.

Далі захоплені знімки необхідно завантажити в програму Agisoft PhotoScan. Подальша обробка і створення 3D-моделі місцевості виконується таким же чином, як описано вище для даних, отриманих під час звичайної аерофотозйомки.

Таким чином, сформовано основні фотограмметричні вимоги, виконання яких забезпечують якісний результат аерофотозйомки. Розроблено методики отримання та обробки фотознімків, для побудови 3D-моделей місцевості, за даними отриманих із

використанням аерофотозйомки з БПЛА та захоплених кадрів відеофайлів обльоту місцевості.

**4. Практична реалізація методики побудови 3D-моделей місцевості із застосуванням даних аерофотозйомки з БПЛА.** Вихідними даними для створення 3D-моделі місцевості є аерофотознімки бази відпочинку "Мис доброї надії" в Полтавській області, отримані за допомогою БПЛА.

PhotoScan підтримує такі формати фотографій: JPEG, TIFF, PNG, BMP, PPM, OpenEXR, JPEG Multi-Picture Format (MPO). Фотографії інших форматів не буде видно в діалоговому вікні додавання фотографій. Такі фотографії необхідно попередньо конвертувати в один з підтримуваних форматів.

Далі відібрані знімки завантажувались у вікно проекту PhotoScan (рис. 9). Завантажені фотографії відображаються в робочому вікні програми разом з прапорцями статусу.

Передбачено такі статуси аерознімків.

1. NC (немає калібрування). Не знайдені EXIF-дані, за якими можна оцінити фокусну відстань знімка. В цьому випадку PhotoScan передбачає, що відповідна фотографія була зроблена об'єктивом з фокусною відстанню 50 мм (в еквіваленті 35 мм плівки). Якщо ж реальне фокусна відстань значно відрізняється від 50 мм, необхідно провести калібрування камери вручну.

2. NA (немає зрівнювання). Параметри зовнішнього орієнтування ще не були отримані для даної фотографії. Завантажені в PhotoScan фотографії залишаться сполученими до тих пір, поки не буде виконано наступних крок — зрівнювання фотографій.

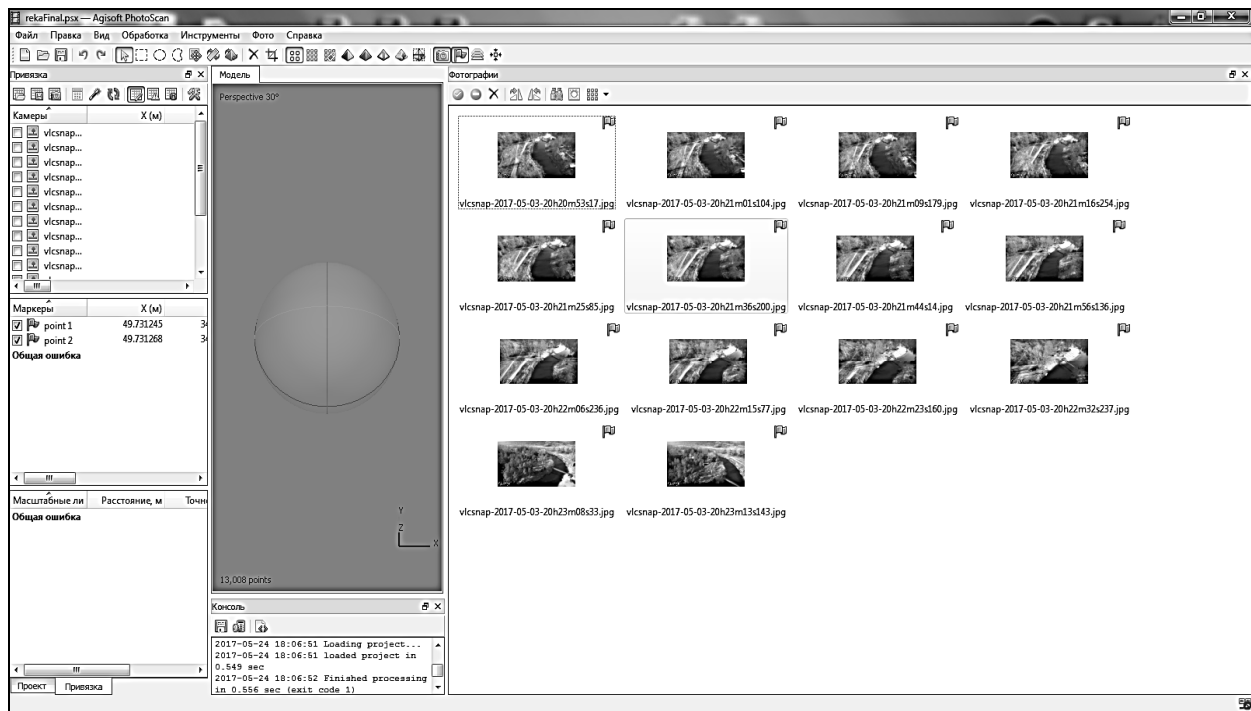


Рис. 9. Вікно PhotoScan із завантаженими аерознімками з БПЛА

Після завантаження знімків виконується імпорт масок. Маски можуть бути завантажені з зовнішніх джерел, або згенеровані автоматично з фотографій фону, якщо такі існують (рис. 10).

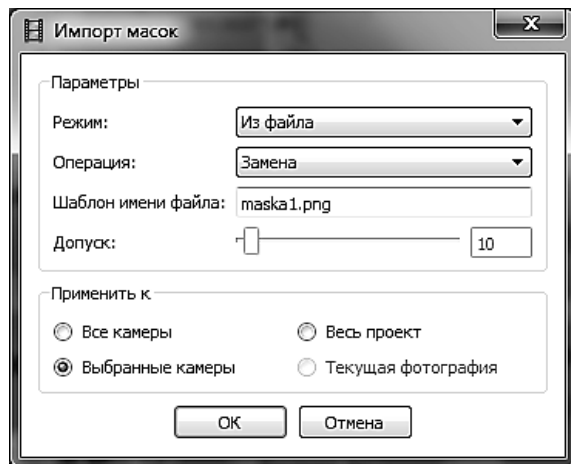


Рис. 10. Вікно налаштувань імпорту масок

Після того, як маски завантажено у PhotoScan, необхідно виконати зрівнювання аерофотознімків. На цій стадії PhotoScan визначає положення і орієнтацію камери для кожного кадру і будує розріджену хмару точок (рис. 11).

Після завершення зрівнювання у вікні програми відобразяться положення камер і розріджена хмара точок. У разі, якщо огляд результату виявив неправильне позиціонування однієї або декількох камер, зрівнювання для таких камер може бути скинуто. Фотографії поганої якості можуть істотно вплинути на результат зрівнювання. PhotoScan допомагає знайти зображення поганої якості, пропонує функцію автоматичної оцінки якості фотографії. Зображення з параметром якості менш за 0,5

рекомендується заблокувати і таким чином виключити з обробки, за умови, що аерознімки, які залишилися, повністю покривають простір реконструйованої сцени місцевості.

Далі виконано зрівнювання знімків із застосуванням необхідних параметрів (рис. 12).

Висока точність дозволяє визначити найбільш достовірне положення камери, низька точність може бути використана для грубого розрахунку положення камери в найкоротший час.

Преселекція пар, — процес вирівнювання великих наборів фотографій, — може займати значний час, велика частина якого витрачається на пошук відповідностей між знайденими на різних фотографіях особливостями. Преселекція пар може прискорити процес шляхом вибору піднабору пар зображень, для яких необхідно знайти відповідності. У режимі "Загальний" преселекція пар здійснюється шляхом попереднього відбору з низькою точністю пошуку відповідників. Крім того, можливе налаштування таких додаткових опцій:

1) встановлення максимальної кількості точок, тобто кількості відповідностей на кожній фотографії, що беруться до уваги на поточній стадії обробки;

2) використання маски для фільтрації відповідностей — при цьому всі відповідності, знайдені на ділянці зображення під маскою, не враховуються.

Наступним кроком практичної реалізації запропонованої методики стала побудова щільної хмари точок. У вікні налаштувань були задані параметри для необхідної якості побудови щільної хмари точок (рис. 13). Більш високі параметри налаштувань можуть використовуватися для отримання більш детальної і точної геометрії, проте вимагають при цьому значних комп'ютерних ресурсів і більш тривалого часу на обробку.

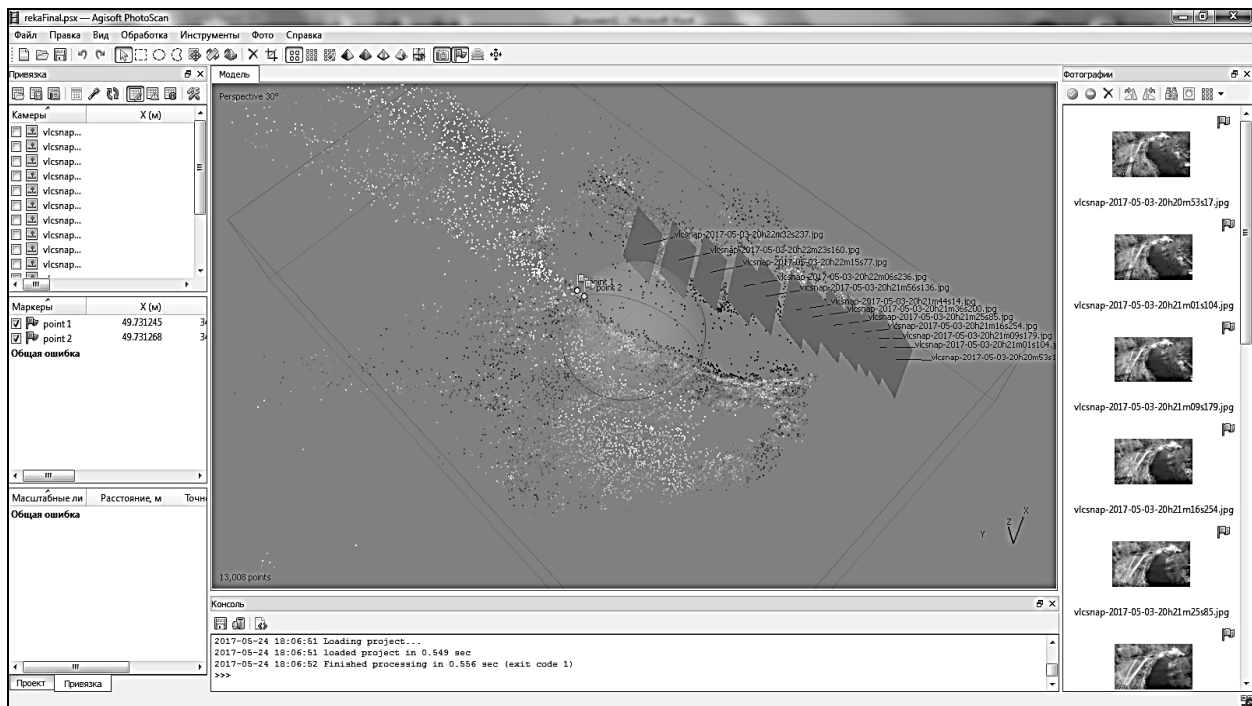


Рис. 11. Зрівнені аерофотознімки

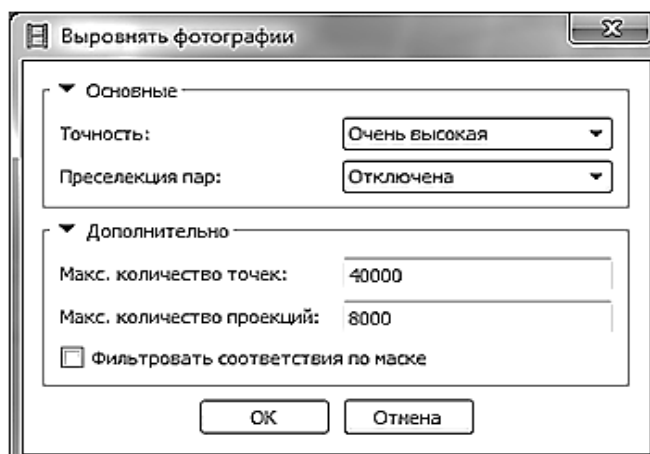


Рис. 12. Вікно налаштувань зрівнювання фотографій

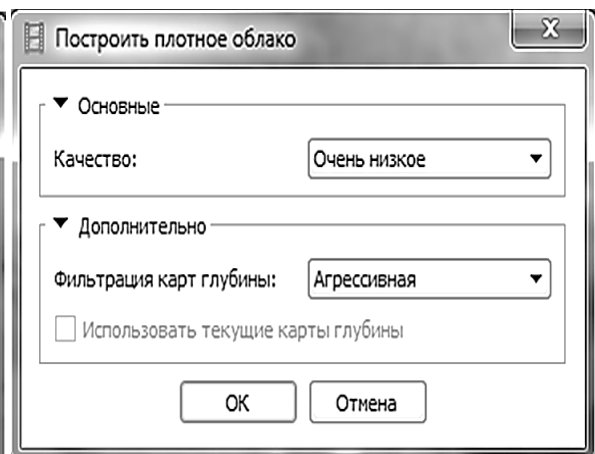


Рис. 13. Вікно налаштувань щільної хмари

На стадії побудови щільної хмари точок PhotoScan розраховує карти глибини для кожного зображення. У разі, якщо текстура деяких елементів сцени погано виражена або зображення нечітко сфокусовано, а також внаслідок цифрового шуму деякі точки можуть бути неправильно позиціоновані. Для фільтрації викидів PhotoScan має кілька вбудованих алгоритмів, які можуть застосовуватися в залежності від завдань конкретного проекту.

М'яка фільтрація застосовується при складній, з численними дрібними деталями на передньому плані, геометрії сцени, що реконструюється. У цьому випадку важливі елементи сцени не будуть вилучені з побудови.

Агресивна фільтрація застосовується при реконструкції області без значущих дрібних деталей.

Помірні фільтрації встановлюються на рівні, середньому між режимами М'яка і Агресивна.

Грунтуючись на розрахованих положеннях камер програма обчислює карти глибини для кожної

камери і на їх основі будує щільну хмару точок (рис. 14). При цьому її можна змінити, класифікувати за допомогою PhotoScan або експортувати для подальшого аналізу в інших додатках.

На основі щільної хмари точок було створено 3D-модель місцевості. PhotoScan підтримує кілька методів відновлення тривимірної полігональної моделі і надає ряд налаштувань, що дозволяють виконати оптимальну реконструкцію для конкретного набору фотографій (рис. 15).

Довільний тип поверхні може бути використаний для моделювання об'єктів будь-якого виду. Цей тип підходить для реконструкції замкнених поверхонь, таких як статуї та будівлі.

"Карта висот" — опція, оптимізована для моделювання плоских поверхонь, таких як ландшафт або барельєфи. Даний тип обробки підходить для результатів аерофотозйомки, оскільки відповідний метод вимагають меншої кількості ресурсів пам'яті, і отже, дозволяють обробляти більшу кількість зображень.

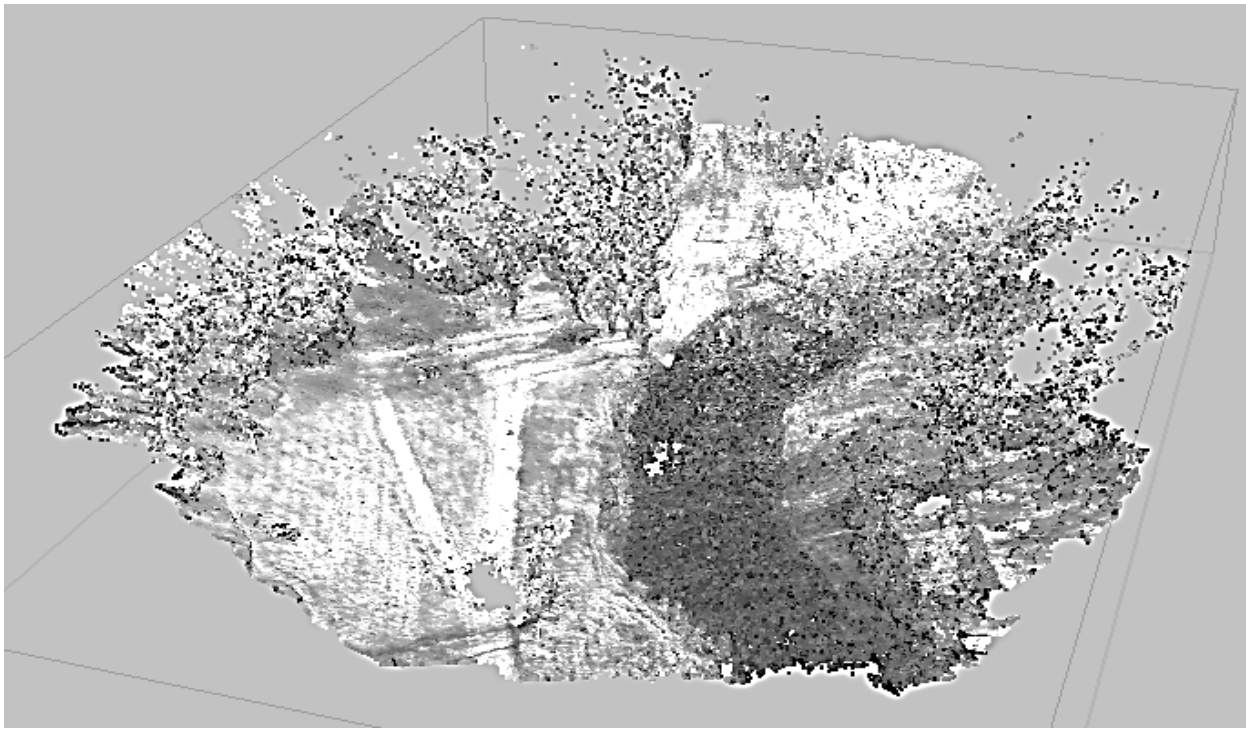


Рис. 14. Щільна хмара точок

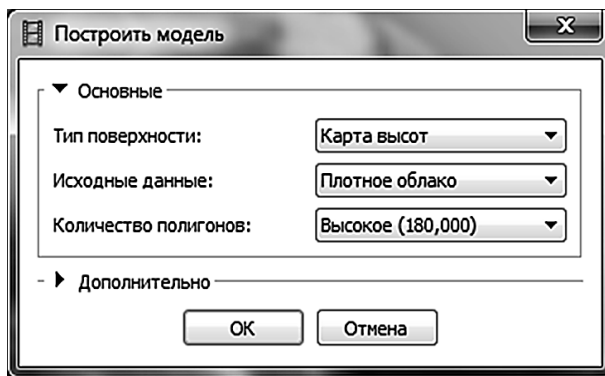


Рис. 15. Вікно налаштувань реконструкції 3D-моделі

"Вихідні дані" — опція, що визначає джерело даних для побудови тривимірної полігональної моделі. Значення "Розріджена хмара" цієї опції може бути використано для швидкого створення полігональної моделі на підставі тільки розрідженої хмари точок. Значення "Щільна хмара" дозволяє побудувати полігональну модель високої якості ґрунтуючись на задалегідь відтвореній щільній хмарі точок, однак при цьому час обробки збільшиться.

Для того щоб отримати цифрову модель місцевості (ЦММ), а не цифрову модель рельєфу (ЦМР) було вибрано клас точок "Земля + низькі точки", які доцільно використати при побудові тривимірної полігональної моделі.

Після завершення реконструкції 3D моделі місцевості, на отриману модель накладається текстура. Режим накладення текстури визначає, яким чином текстура об'єкта буде зберігатися в текстурному атласі (рис. 16).

Загальний режим параметризації є режимом за замовчуванням і дозволяє зробити параметризацію текстури атласу для довільної геометрії. В цьому ви-

падку PhotoScan не робить ніяких припущень щодо типу оброблюваної сцени і намагається створити настільки рівномірну текстуру, наскільки це можливо.

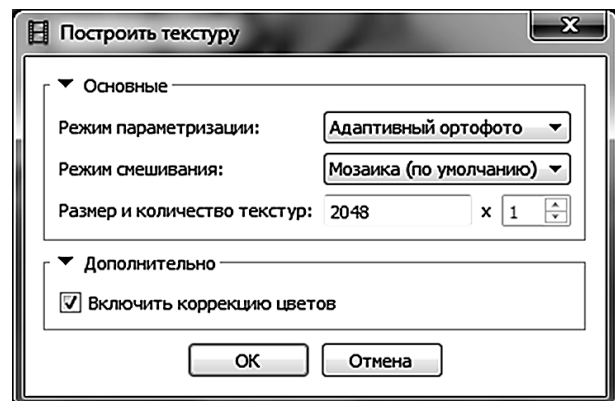


Рис. 16. Вікно налаштувань побудови текстур

У режимі параметризації з параметром "Адаптивний ортофото" поверхня об'єкта поділяється на пласку частину і вертикальні області. Пласка частина поверхні текстурується з використанням ортографічної проекції, в той час як вертикальні області текстуруються окремо для збереження точного відображення текстури в цих областях. Даний режим дозволяє отримувати більш компактні текстури для сцен, близьких до пласких, зберігаючи при цьому високу якість текстури для вертикальних поверхонь (наприклад, стін будівель).

У режимі "Ортофото" вся поверхня об'єкта текстурується в ортографічній проекції. Даний режим дозволяє отримати ще більш компактне представлення текстури, ніж в режимі "Адаптивний ортофото", однак при цьому сильно знижується якість текстури для вертикальних областей.

Сферичний режим параметризації підходить тільки до певного класу об'єктів, які мають кулясту форму. Це дозволяє здійснювати експорт безперервного текстурного атласу для цього типу об'єктів, що значно спрощує подальшу роботу з ним. Отже, в результаті розрахунку з використанням вікна "По-

будувати текстуру" (рис. 16) отримано модель з координатами текстур (рис. 17).

На рис. 18 наведено чотири 3D-моделі, котрі отримані в результаті виконання реконструкції місцевості у відповідності із запропонованою методикою.

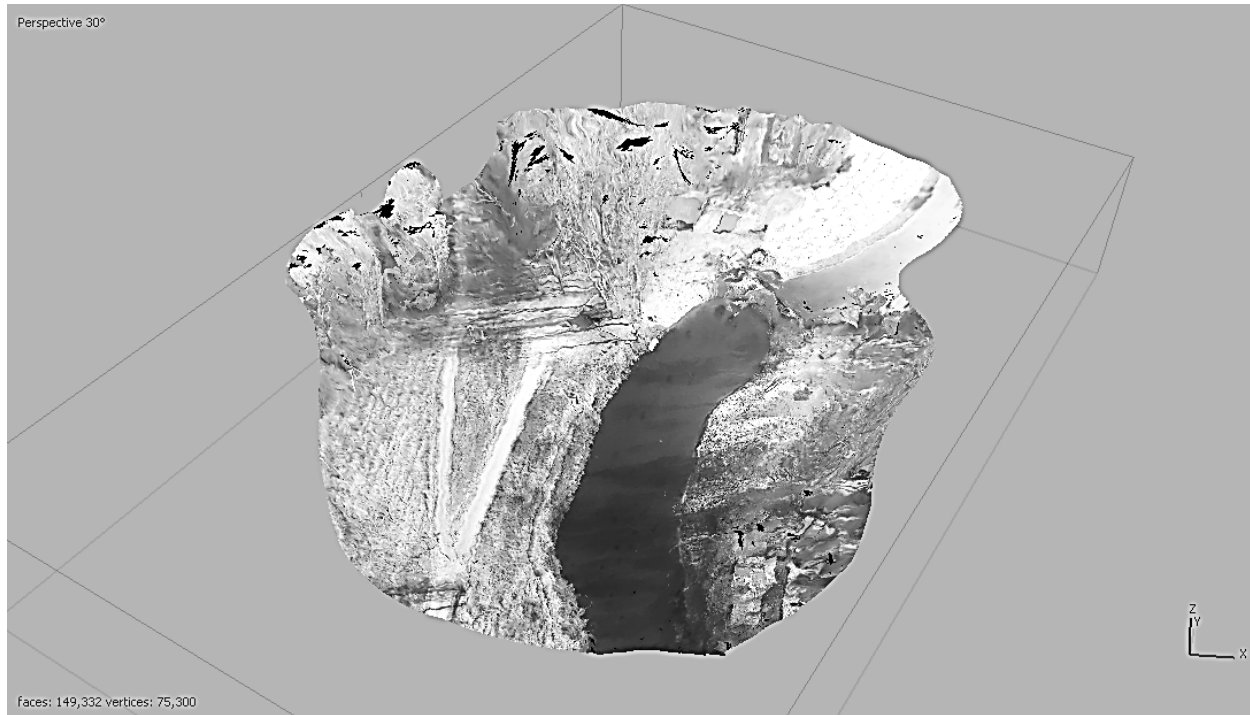


Рис. 17. 3D-модель місцевості з накладеною текстурою



Рис. 18. Реконструйовані 3D-моделі місцевості по даним з БПЛА

PhotoScan підтримує можливість експорту результатів у різні представлення: розріджені або щільні хмари точок, дані калібрування камер, полі-

гональні моделі. Залежно від вимог користувача можуть бути згенеровані ортофотоплани і карти висот (ЦММ і ЦМР).

Хмара точок і розраховані значення калібрувань камер можуть бути експортовані відразу ж після завершення вирівнювання аерофотографій. Всі

інші можливості експорту стають доступними після реконструкції геометрії моделі. Формати і тип експортованих даних представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Формати даних експорту

Експорт	Формат
Хмара точок	Wavefront OBJ, Stanford PLY, Текстовий формат XYZ, U3D, ASPRS LAS, PDF
Калібрування та орієнтація камер	Bundler OUT, CHAN, Boujou, Omega Phi Kappa, PATB, BINGO, AeroSys, Inpho
3D модель	Wavefront OBJ, 3DS, VRML, Stanford PLY, COLLADA, Autodesk FBX, Autodesk DXF, Google Earth KMZ, U3D, Adobe PDF
Ортофотоплан	JPEG, PNG, TIFF, GeoTIFF
ЦМР, ЦММ	GeoTIFF, Arc/Info ASCII Grid (ASC), Band interleaved (BIL)

Слід зазначити, що PhotoScan підтримує створення автоматичних звітів (у форматі PDF) обробки даних в PhotoScan, що містять основні параметри проекту, результати обробки і дані по точності.

Отримані 3D-моделі місцевості можна завантажувати у "хмарні" сховища та (після експорту у формат KMZ) у Google Earth. Крім того, ЦМР, отриману на основі відтвореної ЦММ, можна завантажувати в online-сервіс Arcgis Online.

Сервіс Arcgis Online дозволяє будь-якому користувачу отримати доступ до ЦМР, ЦММ та ортофотопланам, отриманим за допомогою знімків з БПЛА.

### Висновки

Таким чином, розроблено методику побудови 3D-моделей місцевості на базі даних, отриманих за допомогою БПЛА. Методика дозволяє створювати 3D-моделі місцевості, цифрові моделі рельєфу, ортофотоплани, звіт з параметрами реконструкції та параметрами камери.

Виконано аналіз та вибір програмного забезпечення, що задовольняє вимогам щодо застосування

для 3D-моделювання ситуації на місцевості за даними з БПЛА.

Визначено основні фотограмметричні параметри для побудови вимірювальних 3D-моделей місцевості за даними з БПЛА, основними з яких являються: сценарій зйомки для різних об'єктів; роздільна здатність; тип об'єктиву; параметри калібрування фотокамери.

Розроблено технологічні схеми побудови фотограмметричних 3D-моделей місцевості на основі комплексного використання просторових даних аерофотозйомки та відеоданих.

Розроблено методичні рекомендації для побудови 3D-моделей місцевості за даними відео- та фото-зйомки, отриманими з різних видів БПЛА.

Запропоновану методику апробовано при побудові 3D-моделей місцевості реальних об'єктів: база відпочинку "Мис Доброї Надії" в Полтавській області, студентський гуртожиток Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського (ХАІ), територія Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна, піщаний кар'єр в Полтавській області.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андреев С.М., Жилин В.А., Топчий А.С. Методика застосування бібліотек комп'ютерного зору для побудови картографічних моделей. Системи управління, навігації та зв'язку: збірник наукових праць. – Полтава: Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка, 2018. – Вип. 1(47) – 190 с. – С. 3-7.
2. Андреев С.М., Дмитерко Г.В., Жилин В.А., Овчаренко С.И. Методика разработки картографических моделей парковых зон. Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2015. – Вип. 12(137) – 210 с. – С. 6-14.
3. Берлянт А.М. Картография: Навчальний посібник для вузів – Москва: Аспект Пресс, 2003. – 336с.
4. Митин М.Д., Никольский Д.Б. Современные тенденции развития отрасли беспилотных летательных аппаратов: ГЕОМАТИКА // ООО "Компания Совзонд" – С. 27-31.
5. Шевня М.С. Аэрофотосъемка с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА): Геодезия и картография // ОАО "Балтийское аэрогеодезическое предприятие" – С. 44-50.
6. Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.
7. Коваленко А.А. Использование временных шкал при аппроксимации длины очереди компьютерных сетей / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, И.В. Рубан // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2018. – № 2 (4). – С. 12–18. – DOI: <https://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>
8. Глотов А.А. Использование ЦМР для эффективного управления природопользованием: ГЕОМАТИКА // ООО "Компания Совзонд" – С. 32-36.
9. ENVI OneButton — новое решение для обработки данных с БПЛА: ГЕОМАТИКА // ООО "Компания Совзонд" – С. 9-11.
10. КБ Панорама, Создание топокарт и планов по данным БПЛА на базе PhotoScan [Электронный ресурс] / КБ Панорама — Режим доступа: <https://gisinfo.ru/techno/photoscan.htm> — 01.06.2017.
11. Отримання матриці висот (DSM): Інструкція з обробки матеріалів аерофотозйомки в програмі agisoft photoscan pro // "Agisoft" – С. 3-29.
12. Zala agro group, Картографические работы [Электронный ресурс] / Zala agro group — Режим доступа: <http://zala.aero/category/applications/aerophoto/kartograficheskie-raboty/> — 20.05.2017.

13. Геоинформационные системы и аэрокосмический мониторинг, 3D-модели местности [Электронный ресурс] / Геоинформационные системы и аэрокосмический мониторинг — Режим доступа: <https://sovzond.ru/products/spatial-data/3d-modeli-mestnosti/> — 05.05.2017.
14. Геоинформационные системы и аэрокосмический мониторинг, UASMaster [Электронный ресурс] / Геоинформационные системы и аэрокосмический мониторинг — Режим доступа: [https://sovzond.ru/products/software/uav\\_data\\_processing/uasmaster/](https://sovzond.ru/products/software/uav_data_processing/uasmaster/) — 05.05.2017.

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

Received (Надійшла) 11.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

### Применение данных аэрофотосъёмки с беспилотных летательных аппаратов для построения 3D-моделей местности

С. М. Андреев, В. А. Жилин

**Предметом исследования** является методика построения 3D-моделей местности на базе данных, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). **Объектом исследования** является процесс создания 3D-моделей местности, цифровых моделей рельефа, ортофотопланов, отчетов с параметрами реконструкции местности и параметрами съёмочной камеры с использованием современного специализированного программного обеспечения (ПО) – современных цифровых фотограмметрических систем (ЦФС). **Целью работы** является повышение информативности и актуализации геоданных с помощью методики создания фотограмметрических 3D-моделей местности на основе информации, полученной по снимкам с БПЛА, а также видеоматериалов облетов местности. Ради достижения поставленной цели решены такие частные задачи: выполнение анализа современных средств получения и обработки аэрофотоинформации с точки зрения возможности их применения для 3D-моделирования ситуации на местности; определение основных фотограмметрических параметров для построения измерительных 3D-моделей местности; разработка технологических схем построения фотограмметрических 3D-моделей местности на основе комплексного использования пространственных данных; разработка методики построения 3D-модели местности на базе полученных данных с помощью БПЛА. **Выводы:** выполнен анализ и выбор программного обеспечения, который удовлетворяет требованиям относительно применения для 3D-моделирования ситуации на местности по данным с БПЛА; определены основные фотограмметрические параметры для построения измерительных 3D-моделей местности по данным с БПЛА (сценарий съёмки для разных объектов; разрешающая способность; тип объектива; параметры калибровки фотокамеры); разработаны технологические схемы построения фотограмметрических 3D-моделей местности на основе комплексного использования пространственных данных аэрофотосъёмки и видеоданных; разработаны методические рекомендации для построения 3D-модели местности по данным видео- и фотосъёмки, полученным с различных видов БПЛА; на основании проведенных исследований разработана методика построения 3D-моделей местности на базе данных, полученных с помощью БПЛА. Методика позволяет создавать 3D-модели местности, цифровые модели рельефа, ортофотопланы, отчеты с параметрами реконструкции местности и параметрами съёмочной камеры. Предложенная методика апробирована при построении 3D-моделей местности реальных объектов: база отдыха "Мыс Доброй Надежды" в Полтавской области, студенческое общежитие Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского (ХАИ), территория Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина, песчаный карьер в Полтавской области.

**Ключевые слова:** БПЛА, 3D-модель местности, цифровые модели рельефа, ортофотоплан, туча точек триангуляции.

### Application of aerophotic data with unmanned aircraft for developing 3d models of terrain

S. Andreev, V. Zhilin

**The subject of research** is the method of constructing 3D-terrain models on a database obtained using unmanned aerial vehicles (UAVs). **The object of the research** is the process of creating 3D-terrain models, digital elevation models, orthophotoplans, reports with terrain reconstruction parameters and camera parameters using modern specialized software — modern digital photogrammetric systems (CFS). **The aim of the work** is to increase the information content and update the geodata using the method of creating photogrammetric 3D terrain models based on information obtained from images from UAVs, as well as video data of overflights of the terrain. For the sake of achieving this goal, the following particular tasks have been solved: the analysis of modern means of obtaining and processing aero-photo information from the point of view of the possibility of their use for 3D modeling of the situation on the ground; determination of the main photogrammetric parameters for the construction of measuring 3D-models of the terrain; development of technological schemes for constructing photogrammetric 3D-models of terrain based on the integrated use of spatial data; development of methods for constructing a 3D-terrain model based on the data obtained using the UAV. **Conclusions:** analysis and selection of software that meets the requirements for the use of 3D-model situation on the ground according to data from the UAV; the basic photogrammetric parameters for the construction of measuring 3D-terrain models based on data from UAVs (shooting scenario for different objects; resolution; lens type; camera calibration parameters) were determined; technological schemes for constructing photogrammetric terrain 3D models based on the integrated use of spatial data from aerial photography and video data have been developed; methodical recommendations were developed for constructing a 3D terrain model based on video and photo data obtained from various types of UAVs; Based on the research conducted, a method for constructing 3D terrain models based on data obtained using UAVs has been developed. The technique allows you to create 3D-terrain models, digital elevation models, orthophotoplans, reports with terrain reconstruction parameters and a camera parameters. The proposed method was tested when building 3D-models of terrain of real objects: the recreation center "Cape of Good Hope" in the Poltava region, the student dormitory of the National Aerospace University. N. E. Zhukovsky (KhAI), the territory of the Kharkiv National University. VN Karazin, sand pit in the Poltava region.

**Keywords:** UAV, 3D terrain model, digital elevation models, orthophotomap, cloud of triangulation points.



О. С. Бутенко<sup>1</sup>, К. А. Цвященко<sup>1</sup>, К. О. Буравченко<sup>1</sup>, А. А. Нікітін<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

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

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИБОРУ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС-АНАЛІЗУ

В статті представлені основні засади щодо оптимізації процесу вибору місця розташування сонячних електростанцій за рахунок комплексного підходу до вибору критеріїв проведення геопросторового аналізу територій. Проаналізовані всі основні показники, які впливають на вибір. Проведено математичні розрахунки значень необхідних вхідних факторів для оптимізації процесу вибору місця розташування сонячної електростанції. Обґрунтовано розділення території України на основні зони сонячного потенціалу. Сформовані матриці неточностей з похибками між еталонними та вхідними значеннями. Обрано фактори найбільшого ступеню впливу на оптимальний вибір місця розташування сонячних панелей за інвертованим алгоритмом Флойда — Уоршелла. Приведена методика формування вирішальних правил щодо вибору місця розташування на основі відповідності статистичних показників значенням побудованої шкали відповідності якісних оцінок приналежності кожного фактора до однієї з трьох груп приналежності до виділених зон. Представлено метод оптимального вибору місця розташування під сонячні електростанції. Розглянуто математичний алгоритм для вибору оптимальної території під будівництво сонячних електростанцій (СЕС) та перевірено адекватність представленого методу шляхом порівняльного аналізу з реальними даними. Показано доцільність використання геоінформаційних технологій і методів ГІС-аналізу при побудові картографічних моделей при сумісному використанні даних космічного моніторингу та статистичних даних.

**Ключові слова:** сонячні електростанції, сонячний потенціал, фактори, матриця неточностей, вирішальне правило.

### Вступ

На даний момент одним з найперспективніших напрямків відновлюваних джерел енергії є сонячна енергетика. В останні десятиліття галузь, що пов'язана з альтернативними джерелами енергії, активно розвивається не тільки в світовій промисловості, але й у побуті. Завдяки новим технологіям і впровадженню субсидованих тарифів («зелених» тарифів), сонячні енергетичні системи та пристрої дозволяють здійснювати ефективно вироблення і економію електроенергії завдяки природним, практично невичерпним можливостям світлового випромінювання Сонця з незначним впливом на екологічний стан навколишнього середовища. Дослідження і промислова продукція в цій галузі зараз активно розвиваються в таких країнах, як Німеччина, США, Великобританія, Японія, Корея, Китай, а також Україна [1–9].

Однак для більш ефективного використання сонячного потенціалу при вирішенні задач оптимізації розміщення об'єкта відновлюваної енергетики – сонячних електростанцій (СЕС) доцільним є застосування сучасних геоінформаційних технологій.

### 1. Загальна постановка завдання досліджень

Дослідження, які пов'язані з вибором ділянок оптимального місця розташування СЕС, проводилися стосовно території України. Результати аналізу специфіки місцевості показали, що у нашої країни досить багатий сонячний потенціал, завдяки якому практично на будь-якій території можлива установка сонячних панелей. Однак це в більшій мірі стосується випадку, коли альтернативні джерела енергії застосовуються в побуті, приватним чином. Вибір ділянок для розміщення СЕС в промислових масштабах вимагає особливого підходу до вибору місця

розташування сонячних батарей з урахуванням усіх особливостей території, що розглядається.

Аналітичний огляд існуючих методів дослідження, спрямованих на оптимізацію процесу вибору ділянок під СЕС, показав, що за допомогою геометричних методів можна визначити тривалість інсоляції або затінення ділянок, припущення або окремої точки, характер переміщення сонячних променів тощо [10–12]. Що стосується енергетичних методів, то вони спрямовані на розрахунок безпосередньо сонячної радіації (енергії сонця), і дозволяють визначити кількість теплової і світлової енергії сонячних променів у кожен момент часу на ділянці з певним географічним положенням. Статистичний метод – це порівняльний аналіз усіляких варіантів набору критеріїв, що впливають на ефективність експлуатації та фінансову вартість проекту впровадження СЕС. Проте, всі розглянуті методи не досить добре працюють в умовах специфіки розв'язуваної задачі. Для підвищення ефективності прийняття рішень про місце розташування СЕС необхідно підвищити точність кількісних оцінок, що не завжди можливо при використанні класичних методів. У реальних умовах, особливо якщо рішення пов'язані з обмеженням часу, чітких оцінок недостатньо. Також рішення можуть прийматися в умовах інформаційної невизначеності пов'язані з обмеженням обсягом апріорної інформації. В цьому випадку використовують нечіткі числа, нечіткі множини та нечіткі відносини, що дозволяють працювати з інтервальними оцінками. Виходячи з того, що основний акцент при виборі місця розташування має приділятися формуванню критеріїв оптимального вибору, то для підвищення ефективності прийняття рішень про місце розташування СЕС, було запропоновано використовувати теоретико-множинні моделі, засновані на інтервальних оцінках. Такий підхід дозволив враху-

вати додаткові фактори, які в класичних методах зазвичай не враховуються [13–21].

У зв'язку з цим доцільне використання комплексного підходу до вибору оптимального місця розташування СЕС.

## 2. Особливості формування критеріїв оптимального вибору

Для реалізації комплексного підходу при прийнятті рішень про місце розташування СЕС методом історичної аналогії були проаналізовані статистичні характеристики існуючих СЕС з урахуванням їх особливостей для виявлення специфіки місцевості, на якій вони розташовані. Як звісно, кількість електроенергії, яка буде вироблена за допомогою сонячного модуля, залежить від багатьох факторів, і не в останню чергу - від географічного розташування сонячної електростанції. Адже за інших рівних умов кількість виробленої електроенергії буде пропорційно кількості енергії сонячного випромінювання, що досягає поверхні землі у конкретній точці розміщення електростанції. В результаті аналізу було запропоновано умовно розділити всю територію України на 4 зони, що визначаються в залежності від варіації значень сонячного потенціалу. А саме:

- $z_1 = 1300:1400$  (кВт/м<sup>2</sup>);
- $z_2 = 1200:1300$  (кВт/м<sup>2</sup>);
- $z_3 = 1100:1200$  (кВт/м<sup>2</sup>);
- $z_4 = 900:1100$  (кВт/м<sup>2</sup>);

де  $z$  – найменування зони сонячного потенціалу.

Розподіл на зони здійснювався за даними діючих на території України сонячних електростанцій. Аналіз статистичних даних за результатами роботи цих СЕС дозволив визначити еталонні значення по кожній з чотирьох зон. Для раціонального підходу до вирішення задачі оптимального розміщення СЕС був обраний ряд факторів, що максимально впливають безпосередньо на вибір місця з урахуванням їх можливого комбінаторного впливу один на одного. Такими факторами є:

-  $x_1 = S$  – площа; цей фактор в системі є найбільш корельованим по відношенню до інших факторів, так як від розмірності станції і від ґрунту на який вона буде розташовуватися залежить рентабельність в розміщенні та хімічний склад ґрунту. Адже було б нераціонально на місцевості, де панує чорнозем ховати ґрунт під фотоелектричними перетворювачами.

-  $x_2 = P$  – потужність; Цей параметр є одним з найбільш суттєвих, так як необхідно розуміти на що здатні сонячні модулі і скільки енергії може дати одна сонячна панель.

-  $x_3 = A$  – азимут; Цей фактор характеризує відхилення поглинаючої площі колектора від південного напрямку, при орієнтуванні сонячного колектора точно на південь азимут = 0°.

-  $x_4 = \alpha$  – кут нахилу сонячних панелей; Сонячна батарея повинна знаходитися під певним кутом. Але цей кут не може бути завжди однаковим. Положення панелей має змінюватися в залежності від особливостей клімату (кількості сонячних днів в році), пори року, доби, погоди. Є й постійні факто-

ри, що впливають на кут нахилу панелей, – географічна широта, місце монтажу, період використання (якщо батарея працює цілий рік).

-  $x_5 = \varphi$  – широта; Широта місця установки ( $\varphi$ ) показує, наскільки місце знаходиться на північ або на південь від екватора, і складає кут від 0° до 90°, відлічуваний від площини екватора до одного з полюсів – північного або південного. За ступенем інсоляції – кількість сонячного випромінювання на одиницю площі – Україна значно перевершує визнаного європейського лідера в сонячній енергетиці – Німеччину. Але при великій кількості сонця клімат в Україні – не жаркий, що дуже важливо для роботи сонячної електростанції.

-  $x_6 = E$  – енергія. Це значення кількості енергії, що виробляється сонячними панелями за рік. Фактор енергії безпосередньо залежить від потужності панелей і ступеня інсоляції.

Слід зазначити, що при побудові сонячної електростанції необхідні вхідні дані з усіх шести параметрів (площа, потужність, азимут і т. д.).

Для підвищення точності вибору місця розташування СЕС додатково були проаналізовані вагові коефіцієнти, що дозволяють оцінити ступінь максимального впливу. Оцінка проводилася методом інвертованого алгоритму Флойда-Уоршелла.

**2.1. Формування матриць неточностей.** Оскільки вся територія України була умовно розділена на 4 зони сонячного потенціалу, було складено 4 матриці, в які входять еталонні та вхідні значення факторів максимального впливу (площа, потужність, кут падіння тощо).

Заповнення матриці здійснювалося за наступним алгоритмом:

1. Перетворення всіх факторів до системи СІ.
2. Складання пропорції для аналітичного взаємозв'язку одного фактора з іншим.
3. Заповнення осередків матриці. Результат значень матриць – різниця між еталонним і вхідним фактором, узятим по модулю ( $|y_i^* - x_i^{вх}|$ ). Для факторів, у яких немає прямого зв'язку один з одним, осередок набуває значення – 0.
4. Розрахунок матриць неточностей для решти трьох зон -  $z_2, z_3, z_4$ . за аналогічним принципом.

**2.2. Методика формування вирішальних правил.** Для побудови бази вирішальних правил на основі статистичних оцінок була побудована шкала відповідності якісних оцінок приналежності кожного фактора до однієї з трьох груп приналежності виділених зон. Діапазон для варіації значень коефіцієнтів був обраний від 0 ÷ 1. Відповідно до обраної умовної шкали прийняття рішень, розглядалися три можливих інтервальних оцінки і, як наслідок, стани:

- 1) розглянутий фактор потрапляє в інтервал  $0 < x \leq 0,3$ , тоді він відповідає розглянутій зоні;
- 2) фактор потрапляє в інтервал  $0,3 < x \leq 0,6$ , тоді рішення про приналежність до тієї чи іншої зони приймається в умовах невизначеності, і виникає необхідність розгляду інших критеріїв відповідно до ієрархії ступенів їх значущості;
- 3) фактор потрапляє в інтервал  $0,6 < x \leq 1$ , тоді він не відповідає обраній зоні.

У разі, коли рішення необхідно приймати в зоні невизначеності, додаткові фактори впливу вибираються з матриці максимального впливу, розрахованої за інвертованим алгоритмом Флойда-Уоршелла.

**2.3. Формалізація основних етапів прийняття рішення.** Для уніфікації процесу прийняття рішень, а також для можливості його автоматизації заключним є процес формалізації основних його етапів, а саме:

1. Запис єдиного алгоритму розрахунку оптимального вибору місця розташування СЕС у вигляді аналітичного виразу:

$$\{\Delta_{ij}\} = \bigcup_{j=1}^4 \bigcap_{i=1}^6 (|x_i - y_{ij}|),$$

де  $i$  - значення фактора (S, P, A,  $\alpha$ ,  $\varphi$ , E)  $j$  - значення зони ( $z_1, z_2, z_3, z_4$ ),  $\Delta_{ij}$  - різниця між еталонним та вхідним значенням, розглянутих по всім матрицям відповідності вхідних значень кожного фактора в зоні сонячного потенціалу;  $x_i$  - вхідний фактор;  $y_{ij}$  - еталон в залежності від фактора  $i$  зони.

2. Формалізація випадку, коли фактор однозначно влучає у відповідну зону, може бути записана

Реалізація алгоритму для зони  $z_1$  наступна:

$$\begin{cases} \text{IF } |F_4^* - F_4^{ex}| \leq 0,3 \text{ and } |F_5^* - F_5^{ex}| \leq 0,3 \Rightarrow N_z = 1; \\ \text{IF } 0,3 < |F_1^* - F_1^{ex}| \leq 0,6 \Rightarrow (K_z^{\uparrow}; K_{kor}^{\uparrow}) \Rightarrow N_z \neq 1; \\ \text{IF } |F_2^* - F_2^{ex}| > 0,6 \text{ and } |F_3^* - F_3^{ex}| > 0,6 \text{ and } |F_6^* - F_6^{ex}| > 0,6 \Rightarrow N_z \neq 1 \end{cases}$$

Застосування математичного алгоритму для зони  $z_2$ :

$$\begin{cases} \text{IF } |F_1^* - F_1^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } |F_2^* - F_2^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } |F_4^* - F_4^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } \\ |F_5^* - F_5^{bx}| \leq 0,3 \Rightarrow N_z = 2; \\ \text{IF } |F_3^* - F_3^{bx}| > 0,6 \text{ and } |F_6^* - F_6^{bx}| > 0,6 \Rightarrow N_z \neq 2 \end{cases}$$

Застосування математичного алгоритму для зони  $z_3$ :

$$\begin{cases} \text{IF } |F_1^* - F_1^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } |F_2^* - F_2^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } |F_4^* - F_4^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } \\ |F_5^* - F_5^{bx}| \leq 0,3 \Rightarrow N_z = 3; \\ \text{IF } 0,3 < |F_6^* - F_6^{bx}| \leq 0,6 \Rightarrow (K_z^{\uparrow}; K_{kor}^{\uparrow}) \Rightarrow N_z = 3; \\ \text{IF } |F_3^* - F_3^{bx}| > 0,6 \Rightarrow N_z \neq 3 \end{cases}$$

Застосування математичного алгоритму для зони  $z_4$ :

$$\begin{cases} \text{IF } |F_4^* - F_4^{bx}| \leq 0,3 \text{ and } |F_5^* - F_5^{bx}| \leq 0,3 \Rightarrow N_z = 4; \\ \text{IF } 0,3 < |F_2^* - F_2^{bx}| \leq 0,6 \text{ and } 0,3 < |F_6^* - F_6^{bx}| \leq 0,6 \Rightarrow (K_z^{\uparrow}; K_{kor}^{\uparrow}) \Rightarrow N_z = 4; \\ \text{IF } |F_1^* - F_1^{bx}| > 0,6 \text{ and } |F_3^* - F_3^{bx}| > 0,6 \Rightarrow N_z \neq 4 \end{cases}$$

Практична реалізація запропонованого методу була розглянута на прикладі Чигиринської АЕС, а саме недобудованої атомної електростанції, розташованій в селищі міського типу Орбіта на березі Дніпра, Черкаська область. Наказом Міністерства СРСР від 29 жовтня 1981 року будівництво АЕС було законсервовано.

Аналізуючи всі вищевказані факти, а також з огляду на специфіку місцевості, можна зробити висновок, що Чигиринську сонячну електростанцію доцільніше будувати в третій зоні сонячного потенціалу ( $z_3$ ). Збіг з реальними результатами доводить адекватність розробленого методу. Для візуалізації розробленого методу була побудована фотокартка Чигиринської сонячної електростанції в середовищі ArcGIS 10.2 з нанесеними на неї назвою, легендою,

таким виразом:

$$\forall \Delta_{ij} \leq 0,3 \Rightarrow N_z = j,$$

де  $N_z$  - номер зони.

3. Ситуація, коли рішення про приналежність до тій чи іншої зони, в умовах невизначеності, така:

$$0,3 \forall \Delta_{ij} \leq 0,6 \Rightarrow \Delta_{ij} \circ (K_z^{\uparrow}; K_{kor}^{\uparrow}),$$

де  $K_z^{\uparrow}$  - значення коефіцієнту значущості критеріїв;  $K_{kor}^{\uparrow}$  - корельовані значення матриці.

4. Формалізація випадку, коли фактор не влучає в зону найкращого збігу, така:

$$\forall \Delta_{ij} > 0,6 \Rightarrow \text{GO TO } (\{\Delta_{ij}\} = \bigcup_{j=1}^4 \bigcap_{i=1}^6 (|x_i - y_{ij}|))$$

Для перевірки адекватності розробленої методики проведено порівняльний аналіз з реальними даними.

**2.4 Реалізація розробленого методу.** Для перевірки адекватності поданого у статті методу був проведений порівняльний аналіз розрахунків за методом та реальних даних. Розрахунки проводились за усіма чотирма зонами. Для цього були визначені показники для вибору оптимального місця для розташування Чигиринської сонячної електростанції.

стрілкою на північ, масштабом, масштабною лінійкою та підписом. Основою для фотокартки був знімок, отриманий з Google Earth Pro (рис. 3).



Рис. 1. 3D візуалізація знімка Чигиринської атомної електростанції

За допомогою графічного редактора Adobe Photoshop була змодельована територія для майбутньої СЕС без енергоблоків та інших споруд (рис. 2).

Фотокартка Чигиринської сонячної електростанції в середовищі ArcGIS 10.2 з нанесеними на неї назвою, легендою, стрілкою на північ, масштабом, масштабною лінійкою та підписом наведена на рис. 3.

Як бачимо на рис. 3, сонячні модулі були створені за допомогою векторного графічного редактора шляхом накладення їх на вихідний знімок у вигляді повноцінної станції.





Рис. 2. Територія Чигиринської АЕС без енергоблоків

### Фотокартка Чигиринської сонячної електростанції



#### Легенда

-  Сонячні батареї
-  Територія Чигиринської АЕС

1:100

0 105210 420 630 840 Kilometers

Виконала:  
ст. 442-а гр.  
Цвєщенко К. А.

Рис. 3. Фотокартка Чигиринської сонячної електростанції

### Висновки

Аналіз специфіки місцевості для розміщення СЕС показав, що у нашій країні досить багатий сонячний потенціал, завдяки якому на будь-якій території раціонально встановлювати сонячні панелі.

Огляд існуючих методів оптимізації вибору місця розташування СЕС дозволив зробити висновок про те, що, раніше задача оптимізації вирішувалася методом статистики, а також з урахуванням базових техніко-економічних показників.

Виявлено, що основними критеріями при виборі оптимального місця розташування СЕС є: площа, потужність, азимут, кут нахилу сонячних батарей, широта і вироблення енергії.

Класифікація вимог до місця розташування СЕС згідно з еталонними значеннями дозволила сформулювати 4 основних групи сонячного потенціалу.

Для підвищення ефективності прийняття рішень про місце розташування СЕС, яка полягає в зниженні тимчасових, матеріальних і трудових витрат, необхідно використовувати метод, заснований на математичній логіці, що дозволяє врахувати додаткові фактори, які в класичних підходах не враховуються.

Запропонований метод може бути адаптований для інших територій з іншими характеристиками при обліку чинників, пов'язаних зі специфікою аналізованої місцевості.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Солнечная энергетика: учеб. пособие для вузов / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, В. А. Кузнецов, Н.К. Малинин; под ред. В.И. Виссарионова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 276 с.
2. Кондратьев К. Я. Радиационный режим наклонных поверхностей / К. Я. Кондратьев, З. И. Пивоварова, М. П. Федоров. – М.: Гидрометеиздат, 1978. – 220 с.
3. Карты распределения солнечного потенциала — [Електроний ресурс]:  
1. <https://rentechno.ua/blog/solar-electricity-potential-maps.html> (дата обращения — 15.01.2018).
4. Нунумете Р.А. Прогноз потенциала солнечного излучения территории острова Амбон (Индонезия) // Альтернативная энергетика и экология. – 2014. – Н. 154. - № 14. – С. 52-57.
5. Ориентация и угол наклона солнечных коллекторов – [Електроний ресурс]:  
2. <http://solarsoul.net/orientaciya-i-ugol-naklona-solnechnyx-kollektorov> (дата обращения — 11.02.2018).
6. Map of solar radiation in Europe: Ukraine / M. Suri, T. Cebecauer, T. Huld, E. D. Dunlop // Materials of JRC European commission. — PVGIS: European communities, 2001—2008. — p. 27.

7. Математика и САПР. Кн. 2 Вычислительные методы. Геометрические методы. – М.: Мир, 1989. – 260 с.
8. Ярымбаш Д. С. Особенности идентификации интенсивности солнечной радиации при проектировании солнечных электростанций / Д. С. Ярымбаш, Ю. В. Даус // *Электроэнергетика и электротехника*. – 2014. – № 1. – с 74-78.
9. Солнечная электростанция: прибыльный бизнес или дешёвая игрушка? / Матеріали компанії Rentechno [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://rentechno.ua/articles/solnechnaya-energetika-pribilnyy-biznes.html>.
10. V. Manikandan, V. Porkodi, Amin Salih Mohammed and M. Sivaram (2018), “Privacy preserving data mining using threshold based fuzzy means clustering”, *ICTACT Journal On Soft Computing*, 2018, Vol. 09, Issue 01, pp. 1813-1816.
11. Коваленко А.А. Использование временных шкал при аппроксимации длины очередей компьютерных сетей / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук, И.В. Рубан // *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. – 2018. – № 2 (4). – С. 12–18. – DOI: <http://doi.org/10.30837/2522-9818.2018.4.012>
12. Фаренбрух А. Солнечные элементы: теория и эксперимент : [Пер. с англ. И. П. Гавриловой и А. С. Даревского; под ред. М. М. Колтуна] / А. Фаренбрух, Р. Бьюб. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 280 с. —ил.
13. Штейнберг А.Я. Расчет инсоляции зданий. - Киев, Будивельник, 1975. - 120 с.
14. Герасименко Е.П., Зозулевич Д.М. Методы формирования трехмерных рецепторных матриц на ЭВМ. // В кн.: *Вычислительная техника в машиностроении*. – Минск. ИТК АН БССР, 1971. – с. 24 – 31.
15. Твайдел Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайдел, А. Уэйр. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 386 с.
16. Новые Энергетические Технологии [Электронный ресурс] – 2014. – <http://iknet.com.ua/presentation/full/energetika>.
17. Скулачев В.П. Эволюция биологических механизмов запасаения энергии // *Тамже*. 1997. № 5. С. 11-19.
18. Мэрфи Л. М. Перспективы развития и финансирование технологий использования возобновляемых источников энергии в США // *Труды Междунар. конгресса «Бизнес и инвестиции в области возобновляемых источников энергии в России»*, Москва, 31.05—4.06. 1999. М.: НИЦ «Инженер», 1999. С. 59-67.
19. Солнечное излучение в Украине – [Электронный ресурс]: <http://solarsoul.net/intensity-of-solar-radiation-2>.
20. Электротехнические проблемы создания преобразовательных установок для солнечных и ветровых электростанций / Бородулин М. Ю., Кадомский Д.Е. // *Электрические станции*. –1997. — № 3. – с.53-57.
21. Butenko O. S., Zamirets, O. O., The determination of degrees of combinatorial influence of the natural phenomena occurrence's factors [Text] / O. O. Zamirets, O. S. Butenko – *Nauka i Studia, Przemysl, Poland*. – 2015 – 5 (136) – pp. 81 - 87

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. В. Козелков,

Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 25.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

### Оптимизация процесса выбора места расположения солнечных электростанций с использованием ГИС-анализа

А. С. Бутенко, К. А. Цвященко, Е. А. Буравченко, А. А. Никитин

В статье представлены основные принципы оптимизации процесса выбора места расположения солнечных электростанций за счет комплексного подхода к выбору критериев проведения геопространственного анализа территорий. Проанализированы все основные показатели, которые влияют на такой выбор. Проведены математические расчеты значений необходимых входных факторов для оптимизации процесса выбора места расположения солнечной электростанции. Обоснованно разделены территория Украины на основные зоны солнечного потенциала. Сформированные матрицы неточностей с погрешностями между эталонными и входными значениями. Выбран фактор степени влияния на оптимальный выбор места расположения солнечных панелей с использованием инвертированного алгоритма Флойда - Уоршелла. Приведена методика формирования решающих правил выбора местоположения на основе соответствия статистических показателей значением построенной шкалы соответствия качественных оценок принадлежности каждого фактора к одной из трех групп принадлежности к выделенным зонам. Представлен метод оптимального выбора места расположения под солнечные электростанции. Рассмотрен математический алгоритм для выбора оптимальной территории под строительство солнечных электростанций и проверена адекватность представленного метода путем сравнительного анализа с реальными данными. Показана целесообразность использования геоинформационных технологий и методов ГИС-анализа при построении картографических моделей при совместном использовании данных космического мониторинга и статистических данных.

**Ключевые слова:** солнечные электростанции, солнечный потенциал, факторы, матрица неточностей, решающее правило.

### Optimization of the process of choosing the location of solar power stations using GIS analysis

O. Butenko, K. Zvyaschenko, K. Buravchenko, A. Nikitin

In this paper, the main principles for optimizing the process of choosing the location of solar power plants are presented, due to an integrated approach to the selection of criteria for geospatial analysis of the territories. All the key indicators that influence the choice are analyzed. The mathematical calculations of the values of the necessary input factors for optimization of the process of choosing the location of the solar power plant are carried out. The division of the territory of Ukraine into the basic zones of solar potential is substantiated. Forms of inaccuracies matrix with errors between reference and input values. Selected the factor of greatest influence on the optimal choice of location of solar panels according to the inverted Floyd-Worchesh algorithm. The method of forming the decisive rules for choosing a location based on the compliance of statistical indicators with the value of the constructed scale of conformity of qualitative estimates of the belonging of each factor to one of the three groups belonging to the allocated zones is given. The method of optimal choice of location for solar power plants is presented. The mathematical algorithm for choosing the optimal area for the construction of solar power plants (SES) is considered and the adequacy of the presented method by the comparative analysis with real data is checked. The expediency of the use of geoinformation technologies and GIS analysis methods in the construction of cartographic models with the joint use of space monitoring data and statistical data is shown.

**Keywords:** solar power plant, solar potential, factors, inaccuracies matrix with errors, decisive rules.

Д. А. Кочкарь

Научно-производственное объединение "Лесинформ", Харьков, Украина

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ НАЗЕМНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВЫХ КАРТ

Задача проектирования наземных систем мониторинга лесных пожаров в настоящее время является достаточно сложной и требует создания специальной информационной технологии. **Целью данной работы** является разработка информационной технологии для проектирования наземных систем мониторинга с учетом существующей инфраструктуры оборудования, особенностей лесных массивов и естественных ограничений. **Результаты.** Разработана информационная технология проектирования систем наземного мониторинга для прогнозирования и раннего обнаружения лесных пожаров на основе беспроводных сенсорных сетей и видеонаблюдения. Технология базируется на основе цифровых карт и методах покрытия лесных объектов с учетом точек размещения датчиков и зон видеонаблюдения. Предлагаются эвристические процедуры оцифровки картографического материала и пространственного покрытия лесных полигонов. Разработаны инструментальные средства проектирования и эксплуатации наземных систем мониторинга. **Вывод.** Интегрированные НСМ, базирующиеся на видео и сенсорных технологиях целесообразно использовать для прогнозирования, контроля и поддержки принятия решений по обнаружению и тушению пожаров в относительно небольших лесных массивах со сложной географической конфигурацией. По данным компании «Лесинформ» наземная система мониторинга была разработана и успешно внедрена в Свесском лесхозе Сумской области.

**Ключевые слова:** мониторинг, лесные пожары, видео, сенсорные сети, покрытие, проектирование.

### Введение

В последние годы в Украине проблема лесных пожаров достигла высокого уровня критичности. Пожары происходят во всех областях. Большое число лесных пожаров происходит в таких областях, как Херсонская, Днепропетровская, Киевская, Запорожская и другие. Немалые средства приходится платить и за ликвидацию последствий от пожаров.

Задача мониторинга лесных ресурсов для предотвращения лесных пожаров является весьма актуальной. Обнаружение возгорания на начальных стадиях горения является наиболее эффективным методом предотвращения лесных пожаров. Оно может быть обеспечено с помощью наземных систем мониторинга (НСМ) [1].

В настоящее время широкое развитие получили системы беспроводного видео мониторинга [2-9]. Система видеонаблюдения позволяет на основе изображения повысить оперативность и качественное обнаружение очагов пожаров. В системе мониторинга видеокамеры передают информацию по радиоканалу на единый диспетчерский пункт. Готовые решения предлагают различные компании [9].

Достижения в области беспроводных сенсорных сетей являются перспективной технологией разработки наземных систем мониторинга [10-12]. Датчики могут обнаружить и контролировать различные статические и динамические параметры, такие как температуру, относительную влажность воздуха, дым, направление и скорость ветра. Сенсорные системы могут помочь в принятии решения по ликвидации пожара. При наличии в узлах сенсорной сети GPS можно оперативно узнать о начале пожара, а также с высокой точностью определить его местонахождение. Кроме того, узлы с датчиками способны организовать сеть самостоятельно, не требуя настройки.

Таким образом, актуальной проблемой создания наземных систем мониторинга является выбор такой инфраструктуры, которая основана на различных технологиях и объединяет варианты НСМ и БСС. Критериями для выбора инфраструктуры НСМ могут быть полнота контроля, оперативность, надежность и экономическая эффективность.

Задача проектирования наземных систем мониторинга лесных пожаров в настоящее время является достаточно сложной и требует создания специальной информационной технологии.

**Целью данной работы** является разработка информационной технологии для проектирования наземных систем мониторинга с учетом существующей инфраструктуры оборудования, особенностей лесных массивов и естественных ограничений.

### 1. Постановка задачи

Задача проектирования наземной системы мониторинга для обнаружения лесных пожаров была сформулирована в [13]. Она сводится к выбору и размещению необходимого оборудования системы мониторинга (видеокамер, датчиков, средств передачи данных и т.д.), чтобы обеспечить требуемую полноту контроля и минимальную стоимость системы. При этом учитываются зоны повышенной пожарной опасности и зоны ограниченного контроля.

Задача оптимального размещения оборудования может быть сформулирована как задача теории покрытия. Покрытие кругами одного радиуса было впервые рассмотрено в [14].

В наше время оно нашло применение в беспроводных сенсорных сетях [15, 16].

Важнейшими качествами данных, используемых в процессе мониторинга и принятия решений, является их актуальность, полнота и объективность. Основной картографический материал для мониторинга должен быть составлен на точной топографи-

ческой основе. Для обеспечения этих требований необходимо учитывать целый ряд картографических и топологических аспектов.

## 2. Обеспечения качества цифровой карты лесных ресурсов

При векторизации оператором растрового изображения проблемой является точная стыковка различных геометрических объектов: точек и сегментов полилиний. Векторизация ведется с некоторой точностью, которая называется геометрической и которая намного больше видимой на экране монитора в масштабе работы оператора. При этом возникает большое количество ошибок крайне трудных для ручного исправления, так как требует просмотра всех элементов в большом увеличении.

Эта проблема исчерпывающим образом разрешается путем введения понятия близости точек с геометрической точностью. Введение отношения эквивалентности на всем множестве точек из входных данных позволяет отождествить близкие точки. Две точки считаются близкими, если расстояние между ними меньше геометрической точности. Пары точек стягиваются к средней точке, если принадлежат к полилиниям одного ранга. Или точка с более низким рангом подвигается в точку с более высоким рангом.

Перебирая все пары точек одного класса эквивалентности, стягиваем весь класс в одну точку. Таким образом, автоматически устраняются различные нестыковки, невидимые в обычном масштабе работы на экране монитора. После отождествления точек на полилинии могут появляться сегменты нулевой длины, то есть так называемые «слипшиеся» точки. Такие сегменты удаляются.

Другой проблемой качества является обработка точек, близких к сегментам полилиний. Если расстояние от вершины полилинии до сегмента той же или другой полилинии меньше заданной геометрической точности, то на сегменте образуется новая вершина в месте пересечения сегмента и перпендикуляра, опущенного из близкой вершины. Близкая вершина и новая отождествляются. Другими словами, они стягиваются навстречу друг другу, если ранг полилиний одинаков. Или вершина, принадлежащая полилинии с низким рангом, подтягивается к вершине с более высоким рангом.

В результате отождествления близких с геометрической точностью вершин и подтягивания вершин к сегментам полностью решается задача точной стыковки геометрических объектов. При этом близкие сегменты полностью налегают друг на друга. В этой ситуации на налегающих сегментах образуются новые вершины, соответствующие друг другу. Из полилинии с меньшим рангом удаляется перекрытый сегмент и она разбивается на две полилинии. Следовательно, процедура автоматически без участия оператора исправляет все ошибки оцифровки, связанные с неточными стыковками, слипаниями точек и налеганиями полилиний друг на друга.

Исходные полилинии могут перемыкаться, то есть иметь несколько вершин, соответствующих

одной и той же точки плоскости. Они могут пересекаться сегментами в месте, где может не быть вершин полилиний, а также могут слипаться. Оператор, делающий оцифровку, может не думать о необходимости образовывать пересечения. Все пересечения обрабатываются автоматически.

Описанная процедура имеет особенность. Она производит анализ и исправления множества полилиний и построение планарного графа в несколько проходов. Это связано с тем, что некоторые ошибочные ситуации могут быть выявлены только на следующем проходе после исправления других ошибок. Кроме того, в процессе исправления ошибочных ситуаций могут появляться новые ошибки. Количество циклов процедуры зависит от сложности входных данных. Эксперименты показали, что в среднем процедура полностью отлавливает все ошибки и исправляет их за 2 – 7 проходов.

## 3. Проектирование инфраструктуры систем наземного мониторинга

Одним из решений для проектирования наземных систем мониторинга является сетевая инфраструктура, которая объединяет НСВМ и БСС (рис. 1).

Работа такой системы состоит в следующем. Узел с датчиком огня или дыма обнаруживает пожар. Он посылает сигнал тревоги через беспроводную сеть серверу. Приложение сервера выбирает ближайшие к сенсору камеры и поворачивает их на сенсор, который поднял тревогу. Видеокамера передает изображение в реальном времени и позволяет подтвердить пожарным о существовании пожара и избежать ложных тревог. Для поддержки процесса проектирования сетевых инфраструктур НСМ требуется разработка специализированных систем автоматизации проектирования (САПР НСМ).

Автоматическое размещение оборудования НСМ осуществляется с помощью процедуры покрытия заданного полигона произвольной конфигурации с обходом запретных участков и учетом существующей инфраструктуры. Предварительно картографический материал проходит обработку путем анализа планарного графа.

Суть процедуры состоит в следующем. Анализируемая область  $S$  разбивается на квадраты со стороной, соответствующей вписанному в круг с радиусом действия узла или датчика  $R$ . Затем выбирается ряд квадратов которые принадлежат  $S$ . Все остальные ряды через один смещаются относительно первоначального положения на  $\frac{1}{2}$  стороны квадрата. Для каждого ряда проверяется принадлежность центра крайних квадратов  $S$ . Иначе находится центр многоугольника пересечения и там устанавливается оборудование. В результате получаем область  $S$  покрытую кругами.

Проверяется принадлежность центров запретным зонам. Если весь квадрат принадлежит запретной зоне, то он удаляется. В противном случае, его центр смещается в разрешенную область в сторону ближайшей границы. На данном этапе исключается покрытие всех запретных зон.

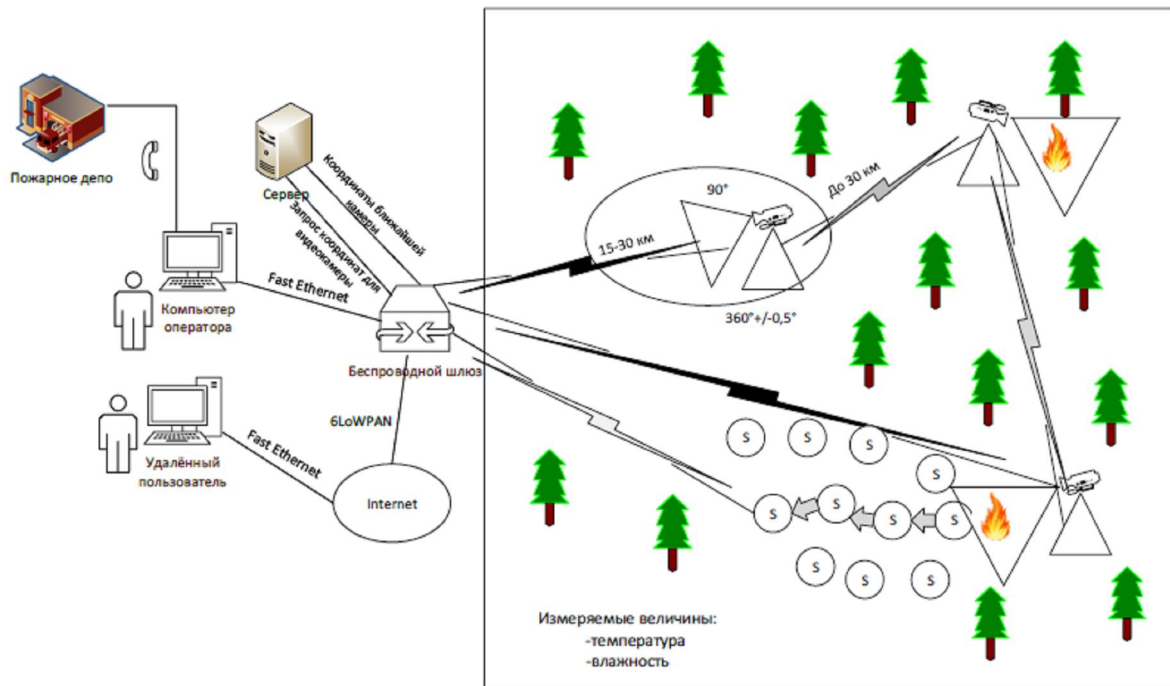


Рис. 1. Инфраструктура системы наземного мониторинга для лесных пожаров

На рис. 2 показан результат работы процедуры.

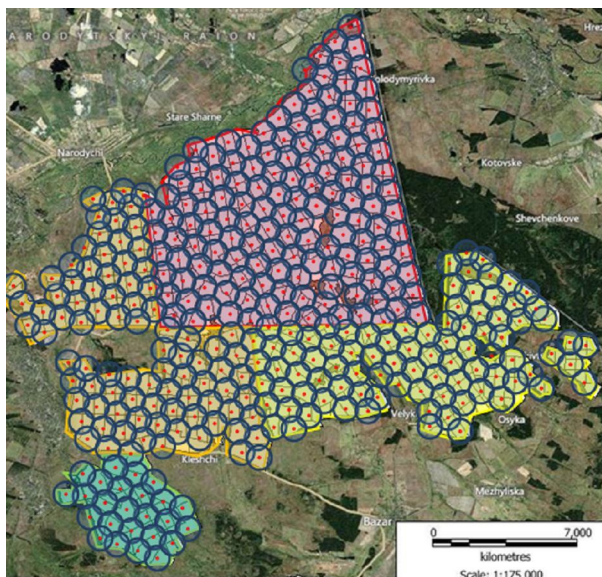


Рис. 2. Покрытие области кругами малого радиуса с учетом запретных участков

#### 4. Инструментальные средства

Средства проектирования НСМ предоставляет следующие функциональные возможности. Оно позволяет работать с картографическим материалом; выбирать необходимое оборудование; определять место для его размещения в автоматическом или ручном режимах; определять полноту покрытия и стоимость НСМ. На рис. 3 показан результат работы программы «Test Polygon».

Когда включена опция «Показывать подложку», будет отображена оцифрованная карта. При включении опции «Запретная зона» происходит переход к отрисовке многоугольника зоны исключения.

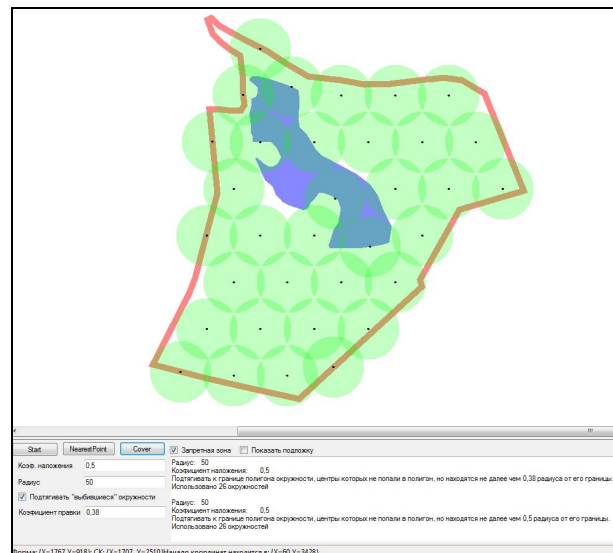


Рис. 3. Работа программы «Test Polygon»

Также программа позволяет выполнить выделение главного многоугольника желаемой области (и опционально «запретной зоны») где происходит покрытие выделенной области кругами. В процессе проектирования задается радиус окружности, которыми будет покрываться выделенный участок (другими словами радиус действия беспроводного сенсорного узла согласно техническим характеристикам). Мы можем подтягивать «выбившиеся» окружности, то есть такие окружности, центры которых не попали в выделенную область, но находятся в непосредственной близости. Такие окружности «подтягиваются» к границе многоугольника. При этом учитывается «коэффициент правки» – значение в долях от радиуса окружности, которое показывает, насколько близко должен быть центр окружности к



многоугольнику, чтобы его было целесообразно переносить на границу выделенной области.

В режиме эксплуатации системы разработан веб-сервис для мониторинга и оповещения о пожаре (рис. 3). Он дает возможность определять датчик, который подал сигнал тревоги и отображать его на карте лесного массива.

Программа включает в себя возможность подключения к системе модулей ZigBee. Разработана возможность автоматического обнаружения новых датчиков в сети для облегчения работы оператора. Для удобства пользования имеется возможность работы с картой. Программа позволяет в автоматическом режиме рассылать оповещение в случае пожара в лесу на электронный адрес и телефонный номер для быстрого реагирования различного рода

служб. Имеется возможность просмотра данных в режиме реального времени в форме диаграмм. Дополнительной функцией является сохранение данных на сервере для дальнейшего анализа.

Интерфейс сервиса разработан на языке разметки гипертекста HTML5. На каждой странице интерфейса имеется меню для быстрого доступа, которое включает переходы на главную страницу, страницу про зоны мониторинга, сенсоры и т.д. После запуска веб-сервиса в браузере отображается страница, на которой находится интерактивная карта с датчиками и короткие ведомости о последних сигналах. Сервис изменяет статус в случае, когда один из датчиков обнаружил пожар (рис. 4). В этом случае появится кнопка отправки оповещения, а также выделяется датчик, который обнаружил пожар.

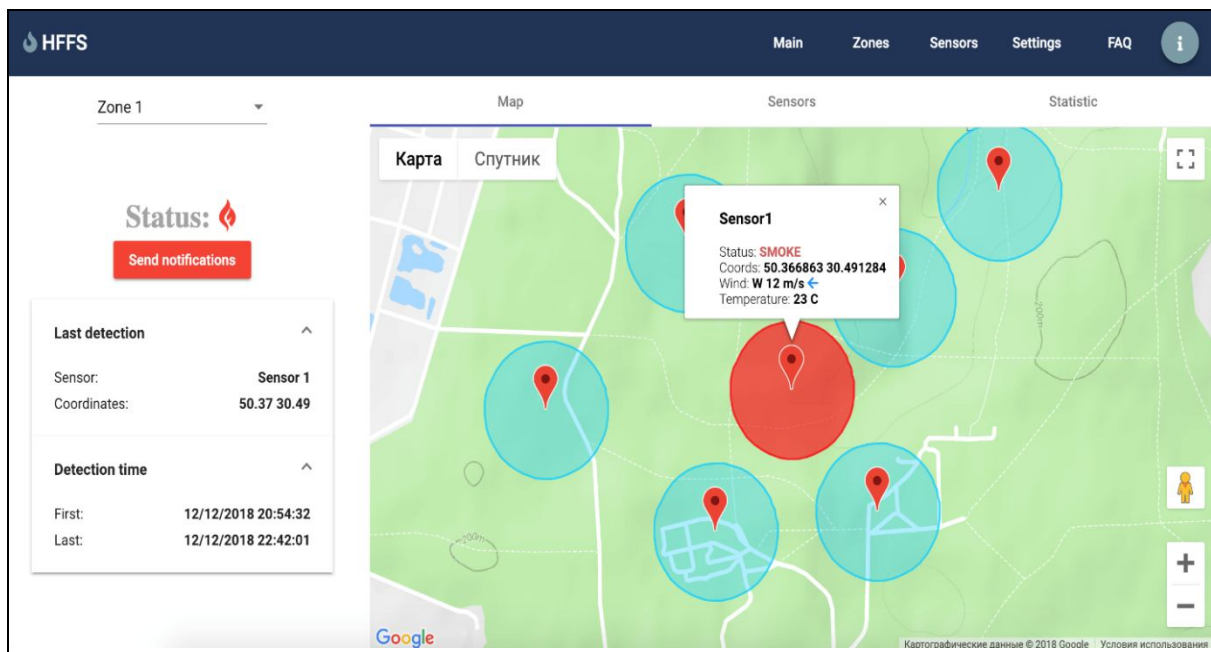


Рис. 4. Страница с датчиками при возникновении пожара

## Заключение

В данной работе рассмотрена информационная технология проектирования и эксплуатации системы наземного мониторинга и прогнозирования лесных пожаров. Предлагаются методы, процедуры и инструментальные средства для обработки картографического материала, устранения ошибок оцифровки, проектирования сетевой инфраструктуры системы и проведения мониторинга лесных пожаров.

Интегрированные НСМ, базирующиеся на видео и сенсорных технологиях целесообразно использовать для прогнозирования, контроля и поддержки принятия решений по обнаружению и тушению пожаров в относительно небольших лесных массивах со сложной географической конфигурацией.

По данным компании «Лесинформ» наземная система мониторинга была разработана и успешно внедрена в Свесском лесхозе Сумской области.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kharchenko V.S., Kotchkar D. A., Bogomolov V. V., Orehov A.A. Monitoring network-based infrastructure for forest fire detection // Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires III, New Forest, UK: WIT Press. – 2012. – Vol 158. - p. 91-99
2. Д.В. Ершов. Российская система мониторинга лесных пожаров / Д.В. Ершов, Г.Н. Коровин, П.П. Шуляк, Н.Б. Дворкина, К.А. Ковганко, П.В. Петров, Е.А. Лупян, А.А. Мазуров, А.А. Прошин, Е.В. Флитман, С.А. Барталев, С.А. Ташилин, Н.А. Абушенко, А.И. Беляев, Л.А. Рыбникова //ARCNEWS. – 2004. – №4 (31) стр.21-23.
3. Новая система пожарного мониторинга – [Электронный ресурс]– Режим просмотра: <http://inform.nstu.ru/print.php?id=564>
4. Псковская область запускает пилотный проект по созданию региональной системы мониторинга за лесными пожарами - [Электронный ресурс]– Режим просмотра: <http://www.wood.ru/ru/lonewsid-18998.html/01.11.2009>.

5. Automatic Early Warning System for Forest Fires // FireWatch – [Електроннийресурс]–Режимпросмотра: <http://www.fire-watch.de/cms>.
6. Amin Salih Mohammed (2018), “modification of load balancing method in networks with wimax technology”, *Qalaai Zanist Journal*, Vol. 3, No. 2, pp. 791-802.
7. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
8. Nandhini A., Saravana Balaji B., "Energy-Efficient PSO and Latency Based Group Discovery Algorithm in Cloud Scheduling", *International Journal of Information Technology and Computer Science(IJTCS)*, vol.6, no.10, pp.48-55, 2014. DOI: <http://doi.org/10.5815/ijitcs.2014.10.07>
9. Kharchenko V., Orekhov A., Medintsev S., Kotchkar D., Bogomolov V. Ground video-monitoring systems for early detection of forest fires // *Journal of information, control and management systems Faculty of Management Science and Informatics University of Zilina*. – 2010. – Vol. 8. – № 2. – P.111–120.
10. Hefeeda M., Bagheri M. Forest fire modeling and early detection using wireless sensor networks // *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*. – 2009. – Vol. 7. – P.169-224.
11. Pripuzic K., Belani H., Vukovic M. Early forest fire detection with sensor networks: sliding window skylines approach // *Proceedings 12th International Conference, KES 2008 Zagreb*. – 2008. – Part 1. – P. 725-732.
12. Hsu-Yaung Kung, Jing-Shiuan Hua, Chaur-Tzuhn Chen Drought forecast model and framework using wireless sensor networks // *Journal of Information Science and Engineering* – 2006. – № 22. – P. 751-769.
13. Мединцев С.Ю. Системы мониторинга лесных ресурсов: состояние и пути развития / Мединцев С.Ю. Системы мониторинга лесных ресурсов: состояние и пути развития / Мединцев С.Ю., Орехов А.А., Кочкар Д.А. // Международная научно-техническая конференция "Гарантоспособные (надежные и безопасные) системы, сервисы и технологии DeSSerT-2009", Харьков, Украина - Радиоэлектронные и компьютерные системы. – N6, 2009, с. 70-74.
14. Kershner R. The number of circles covering a set // *Amer. J. Mathematics*. - 1939. - Vol. 61, N 3. - p. 665–671.
15. Saravana Balaji B., Amin Salih Mohammed, Chiai Al-Atroshi, “Adaptability of SOA in IoT Services – An Empirical Survey”, *International Journal of Computer Applications*, vol. 182 (31), pp. 25-28, 2018, DOI: <http://doi.org/10.5120/ijca2018918249>
16. Zhang H., Hou J.C. Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks // *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*. - 2005. - Vol. 1, N 1-2. - p. 89–124.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,  
Державний університет телекомунікацій, Київ  
Received (Надійшла) 04.11.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

### **Інформаційна технологія створення наземних систем моніторингу лісових пожеж з використанням моделей цифрових карт**

Д. О. Кочкар

Завдання проектування наземних систем моніторингу лісових пожеж в даний час є досить складною і вимагає створення спеціальної інформаційної технології. **Метою даної роботи** є розробка інформаційної технології для проектування наземних систем моніторингу з урахуванням існуючої інфраструктури обладнання, особливостей лісових масивів і природних обмежень. **Результати.** Розроблено інформаційну технологію проектування систем наземного моніторингу для прогнозування і раннього виявлення лісових пожеж на основі бездротових сенсорних мереж і відеоспостереження. Технологія базується на основі цифрових карт і методах покриття лісових об'єктів з урахуванням точок розміщення датчиків і зон відеоспостереження. Пропонуються евристичні процедури оцифровки картографічного матеріалу та просторового покриття лісових полігонів. Розроблено інструментальні засоби проектування і експлуатації наземних систем моніторингу. **Висновок.** Інтегровані HCM, що базуються на відео і сенсорних технологіях доцільно використовувати для прогнозування, контролю та підтримки прийняття рішень з виявлення та гасіння пожеж у відносно невеликих лісових масивах зі складною географічною конфігурацією. За даними компанії «Лесінформ» наземна система моніторингу була розроблена і успішно впроваджена в Свеський лісгоспі Сумської області.

**Ключові слова:** моніторинг, лісові пожежі, відео, сенсорні мережі, покриття, проектування.

### **Information technology for development ground monitoring systems of forest fires based on digital maps model**

D. Kotchkar

The task of designing ground-based forest fire monitoring systems is currently quite complex and requires the creation of a special information technology. **The purpose of this work** is the development of information technology for the design of ground-based monitoring systems, taking into account the existing equipment infrastructure, features of forest areas and natural constraints. **Results.** An information technology developed for designing ground-based monitoring systems for the prediction and early detection of forest fires based on wireless sensor networks and video surveillance. The technology is based on digital maps and methods of forest objects coverage, considering the placement of sensor points and video surveillance zones. Heuristic procedures proposed for digitizing cartographic material and spatial coverage of forest landfills. Tools developed for designing and operating ground-based monitoring systems. **Conclusion.** Integrated HCM based on video and sensory technologies should be used to predict, control and support decision-making on the detection and suppression of fires in relatively small forests with a complex geographical configuration. According to the company "Lesinform" ground monitoring system was developed and successfully implemented in the Svesk forestry Sumy region.

**Keywords:** monitoring, forest fires, video, sensor networks, coverage, design.

В. О. Подліпаєв<sup>1</sup>, В. О. Шумейко<sup>1</sup>, О. В. Атрасевич<sup>1</sup>, І. А. Хижняк<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут телекомунікацій та глобального інформаційного простору НАН України, Київ, Україна

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

## СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗБОРУ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ТА ВЕДЕННЯ ГЕОПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ І ОБОРОНИ

Предметом вивчення в статті є автоматизовані системи геопросторового аналізу для вирішення завдань національної безпеки і оборони. Метою є створення мобільної автоматизованої системи збору геопросторових даних та ведення геопросторового аналізу. Завдання: аналіз вимог, які висуваються до інформаційно-аналітичних систем; розгляд структури автоматизованої системи геопросторового аналізу; висунення вимог до автоматизованої системи геопросторового аналізу; визначення завдань, які вирішуються за допомогою автоматизованої системи геопросторового аналізу; визначення класів автоматизованих систем геопросторового аналізу, в залежності від їх розміщення; аналіз світового мобільного досвіду при прийнятті рішень у складній оперативній обстановці; створення мобільної автоматизованої системи збору геопросторових даних та ведення геопросторового аналізу; визначення функціональних можливостей комплексу. Використовуваними методами є: методи аналізу і синтезу складних інформаційних систем, методи декомпозиції багаторівневого моделювання. Отримані такі результати. Створення мобільних автоматизованих систем (комплексів) збору геопросторових даних та ведення геопросторового аналізу. Функціональні можливості комплексу дозволяють на місці збирати, систематизувати та обробляти всі необхідні геопросторові дані та надавати результати їх обробки споживачу. Висновки. Тактико-технічні характеристики та технологічні можливості зазначеного мобільного комплексу забезпечують прийняття рішення у відповідних умовах, а самі комплекси можуть бути використані для забезпечення як окремих пунктів управління, так й бути елементами складних систем управління вищих рівнів.

**Ключові слова:** геопросторовий аналіз, національна безпека і оборона, автоматизована система, інформаційно-аналітична система, геопросторові дані, мобільний комплекс, геоінформаційна система.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Відповідно до Закону України “Про національну безпеку України”: “Національна безпека України – захищеність державного суверенітету, територіальної цілісності, демократичного конституційного ладу та інших національних інтересів України від реальних та потенційних загроз” [1].

Використання інформаційних технологій в сфері національної безпеки дозволяє оперативно отримувати інформацію, а комплексний підхід (використання декількох джерел) дозволяє підвищити її достовірність.

З цією метою, в провідних країнах світу постійно вдосконалюються сили, засоби та способи добування інформації, а також аналіз отриманих даних і доведення їх до органів державного (військового) керівництва [2].

Впровадження сучасних інформаційно-аналітичних систем, які спроможні формувати відповідну інформацію в реальному масштабі часу, дозволяють приймати ефективні управлінські рішення [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Класифікація автоматизованих систем управління в провідних країнах світу передбачає їх поділ на декілька класів в залежності від функцій, які виконує відповідна система:

command (команда);  
control (контроль);  
communications (комунікації);  
computers (комп'ютери);

intelligence (інтелект);  
surveillance (спостереження);  
reconnaissance (розвідка).

Вимоги, які висуваються до інформаційно-аналітичних систем:

відображення та передача завдань з використанням єдиної обчислювальної системи з необхідним рівнем захисту;

автоматизований збір, обробка інформації та визначення місцеположення об'єктів інтересу з відображенням на електронній карті;

оцінка та опис місцевості, природних та техногенних об'єктів;

проведення геопросторового аналізу; відпрацювання варіантів рішення та моделювання з використанням цифрових карт;

розробка планувальних документів та звітних інформаційних документів.

Особливе місце в системі національної безпеки займає процес добування, збору, систематизації, обробки та управління геопросторовими даними (дані дистанційного зондування Землі, отримані з космічних і повітряних платформ, наземного спостереження, радіоперехоплення, з відкритих джерел та інші) [4].

Цей процес є безперервним, що обумовлено постійними змінами в оперативній обстановці, які пов'язані з діяльністю людини та впливом природних явищ.

Здатність точно прив'язувати операційні райони та події, що в них відбуваються, у просторі та провести геопросторовий аналіз забезпечує необхідні умови для ефективного управління силами і

засобами (підготовки засобів ураження, планування польотів на малих висотах, використання маскуючих і демаскуючих властивостей місцевості, вирішувати інженерні задачі тощо) [5].

Структура автоматизованої системи геопросторового аналізу:

- апаратне забезпечення;
- програмне забезпечення;
- інформація (база даних);
- аналітичні алгоритми;
- обслуговуючий персонал.

Вимоги, які висуваються до автоматизованої системи геопросторового аналізу:

багатофункціональність та простота у користуванні;

надійність та забезпечення необхідного ступеню захисту;

можливість інтеграції (сумісності) з іншими системами.

Завдання, які вирішуються за допомогою автоматизованої системи геопросторового аналізу:

- робота в єдиному стандарті даних;
- створення єдиної бази геопросторових даних з функцією віддаленої реплікації;

представлення оперативного доступу до баз геопросторових даних, сервісів обробки даних і спеціальних програм;

візуалізація результатів геопросторового аналізу з можливістю пошуку, моделювання та створення звітних документів;

забезпечення необхідного ступеню захисту інформації через розмежування прав доступу.

Автоматизовані системи геопросторового аналізу, в залежності від їх розміщення, поділяються на три основні класи:

стаціонарний – призначений для розгортання ситуаційного центру в пунктах постійної дислокації та вирішення завдань загального аналізу інформації та планування задіяння сил та засобів;

мобільний – призначений для забезпечення оперативної обробки та аналізу інформації безпосередньо в зоні проведення операції;

вбудований – призначений для встановлення на роботизованих машинах та представляє собою комплект спеціального програмного продукту.

Особливої уваги потребує забезпечення такими системами процесів оперативного прийняття рішень в складних умовах.

**Метою статті** є питання створення мобільної автоматизованої системи збору геопросторових даних та ведення геопросторового аналізу.

### Виклад основного матеріалу

В регіонах безпосереднього розвитку подій створюються командні пункти, які обладнані мобільними інтегрованими системами управління. Важливим компонентом таких систем повинно бути можливість збору й обробки різноманітної геопросторової інформації для відображення оперативної обстановки у цьому районі, а також проведення геопросторового аналізу для забезпечення прийнятті управлінських рішень [6].

В оперативній обстановці рішення приймаються на місці подій або у безпосередній близькості до них та за певними обмеженнями, такими як час, постійна передислокація, особливості прийому-передачі даних, обсяг додаткової інформації тощо.

Світовий досвід показує, що основними труднощами прийняття рішення у складаній оперативній обстановці, особливо на тактичній ланці, є:

відсутність математично коректних алгоритмів оцінки дій військ на тактичному рівні, зважаючи на величезну різноманітність способів та прийомів, що застосовуються під час виконання бойових задач;

складність створення автоматизованою системою збору та оцінки даних тактичної обстановки з огляду на дуже велику різноманітність її параметрів та швидкоплинності змін (у порівнянні з оперативною ланкою управління);

виникнення, у разі чого, необхідності ручної роботи зі збору, обробці та відображення великої кількості змінних даних, що перевищує можливості відповідних посадових осіб у питанні введення таких даних в систему;

необхідність обробки відносно великої кількості даних за одиницю часу, які за своїм об'ємом наразі перевищують можливості технічного забезпечення, що використовується на тактичній ланці управління;

складність створення самоорганізуючих мереж зв'язку та надійних локальних мереж (систем передачі даних) між великою кількістю високомобільних об'єктів управління.

У зв'язку з цим постає актуальне питання – створення таких автоматизованих систем геопросторового аналізу, які б у достатній мірі забезпечували процес оперативного прийняття рішення та були адаптивні до умов, в яких ці рішення приймаються (бойові дії, надзвичайні ситуації, роботи безпосередньо на об'єкті тощо).

Вирішенням цього питання є створення мобільних автоматизованих систем (комплексів) збору геопросторових даних та ведення геопросторового аналізу.

Рухливість системи та наявність у її складі засобів добування і збору геопросторових даних (безпілотні літальні апарати, планшети реєстрації даних на місцевості тощо, які представлені на рис. 1), забезпечують можливість знаходження у епіцентрі подій та оперативного отримання найактуальнішої інформації. Крім того, маневреність значно підвищує її живучість.

Потужні програмно-технічні засоби у мобільному виконанні (рис. 2), дозволяють швидко обробляти та аналізувати значні обсяги отриманих геопросторових даних, а також виготовляти різноманітні спеціалізовані геоінформаційні продукти.

Базовий програмний продукт комплексу має наступні потужні функціональні особливості:

працює на різних комп'ютерних платформах, легко інтегрується з іншими прикладними системами та програмами, підтримує практично всі розповсюджені програмні розробки та нові апаратні засоби;



Рис. 1. Засоби добування і збору геопросторових даних та мобільна база комплексу



Рис. 2. Програмно-технічні засоби у мобільному виконанні

об'єднує просту в роботі модель даних з повнофункціональним набором засобів обробки та аналізу геопросторової інформації, що відповідають сучасним вимогам;

ця модель здатна об'єднувати дані різного типу: растрові й векторні, зображення, табличні дані, рельєф, відео тощо в рамках єдиної системи;

повністю сумісний з основними форматами обміну даними, що використовуються військовими відомствами більшості країн світу, а також з іншими, які застосовуються у різних сферах людської діяльності (понад 150).

Створені на основі цього програмного продукту ГІС дозволяють створювати більш реалістичні моделі бойової обстановки, що, в свою чергу, збільшує боєздатність військових підрозділів та командування за рахунок значних скорочень часу на підготовку пропозицій для прийняття рішень на застосування військ та засобів ураження [7].

Обладнання таких комплексів засобами супутникового зв'язку (рис. 3), забезпечує стійкий, захищений канал обміну даними за трьома рівнями взаємодії: верхні органи управління; підпорядковані сили і засоби збору геопросторових даних; аналогічні комплекси (такого ж рівня) на сусідніх територіях.

За таких умов забезпечується збір інформації в польових умовах на великій відстані до центру керування операцією (бойовими діями), а також попереднє її оброблення “на марші” практично в режимі приближеному до реального часу, а за необхідністю, приймати рішення на місці.



Рис. 3. Засоби супутникового зв'язку та обміну даними (у мобільному виконанні)

Комплексна робота програмно-технічних засобів з засобами супутникового зв'язку дозволяє в онлайн режимі отримувати геопросторові дані від

різних джерел та використовувати дані з різних інформаційних ресурсів, незважаючи на їх територіальне розташування.

Функціональні можливості комплексу дозволяють на місці збирати, систематизувати та обробляти всі необхідні геопросторові дані (рис. 4) та на-

давати результати їх обробки споживачу (органам військового управління, розвідці, командирам різних рівнів).

Також є можливість забезпечувати споживачів результатами обробки даних та тематичними картами у друкованому вигляді [78].

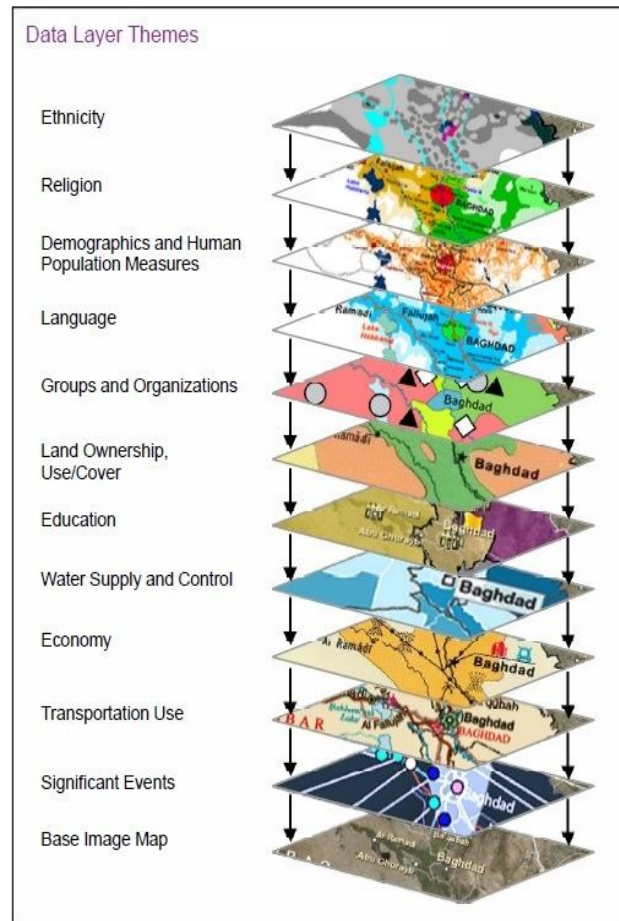
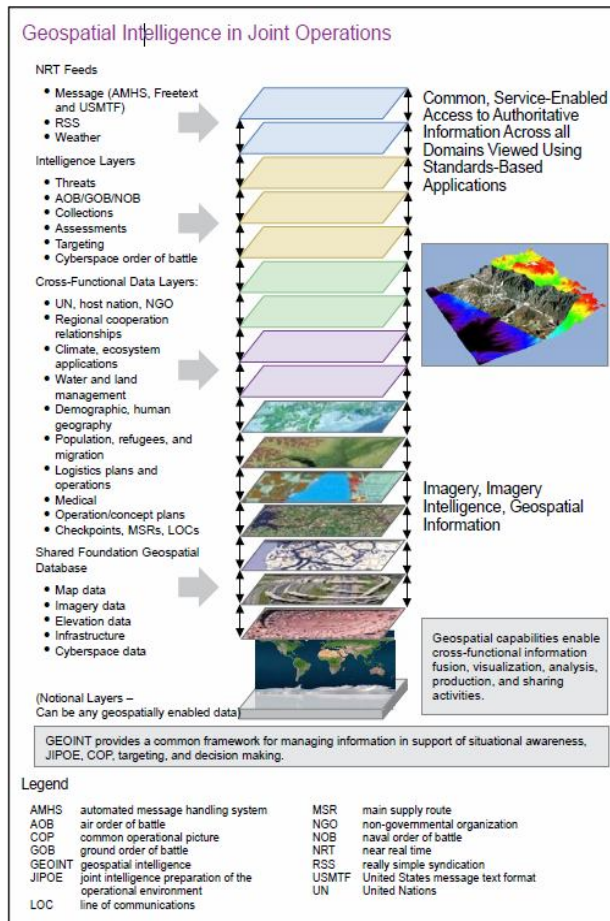


Рис. 4. Інформаційні ресурси, які створюються та надаються за результатами збору геопросторових даних та проведення геопросторового аналізу

Зазначений комплекс може використовуватися у складі розвідувальних та аналітичних підрозділів штабів різного рівня, в системах геоінформаційної підтримки, інформаційно-аналітичних та інших системах, що використовують геопросторові дані.

Найбільша ефективність й найвища оперативність проведення геопросторового аналізу та отримання його результатів забезпечується тісним поєднання інформації з різних видів розвідки та актуальних геопросторових даних про район ведення бойових дій, виникнення кризової ситуації або інші райони інтересу, за допомогою сучасних інформаційних технологій збору, обробки та передачі даних.

### ВИСНОВКИ

Таким чином, тактико-технічні характеристики та технологічні можливості зазначеного мобільного комплексу забезпечують прийняття рішення у відповідних умовах, а самі комплекси

можуть бути використані для забезпечення як окремих пунктів управління, так й бути елементами складних систем управління вищих рівнів.

Спираючись на результати дослідження світового досвіду розвитку даного питання й часу, з якого це питання стало актуальними та вирішується, можна з впевненістю стверджувати, що такі комплекси вже є обов'язковим елементом системи управління. Тому для Збройних Сил України це не є створенням щось нового у світі, а є прагнення відповідати сучасним стандартам й вимогам до систем управління у сфері національної безпеки і оборони.

Результати зазначених досліджень та їх аналіз детальніше будуть розглянуті у подальших публікаціях, а зараз лише зазначимо, що подібні мобільні комплекси вже мають на озброєні Збройні Сили Сполучених Штатів Америки, Великобританії, Російської Федерації, Республіки Білорусь та інших провідних та суміжних з Україною держав.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України “Про національну безпеку України” № 2469-VIII від 21.06.2018. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19>.
2. Joint Intelligence // JP 2-00, *Joint Publication*, 22 October 2013.
3. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
4. Попов М. О., Серединін Є. С. Геоінформаційні системи та технології в завданнях оборони й національної безпеки // Наука і оборона.– 2009.– №3.– С. 49–56.
5. Попов М.О. Геопросторова розвідка в операціях збройних сил / Попов М.О. // Наука і оборона. – 2010. – № 2. – С. 30-39.
6. Геопросторова розвідка, як шлях реалізації геоінформаційного підходу у комплексній обробці розвідувальної інформації / В.О. Подліпаєв // Системи обробки інформації. – 2013. – № 5(112). – С. 53-55.
7. Створення бази геопросторових даних об'єктів розвідки з використанням даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем / І.А. Кухарський, В.О. Подліпаєв, О.В. Атрасевич, В.О. Шумейко // Системи озброєння і військова техніка. – 2013. – № 2(34). – С. 111-113.
8. Geospatial Intelligence in Joint Operations // JP 2-03, *Joint Publication*, 5 July 2017.

**Рецензент:** д-р техн. наук, професор Г. В. Худов,

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

Received (Надійшла) 11.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 05.12.2018

**Создание мобильной автоматизированной системы сбора геопространственных данных и ведения геопространственного анализа для решения задач национальной безопасности и обороны**

V. O. Podlipaev, V. O. Shumeiko, O. V. Atrasevich, I. A. Khyzhniak

Предметом изучения в статье являются автоматизированные системы геопространственного анализа для решения задач национальной безопасности и обороны. Целью является создание мобильной автоматизированной системы сбора геопространственных данных и ведения геопространственного анализа. Задачи: анализ требований, предъявляемых к информационно-аналитическим системам; рассмотрение структуры автоматизированной системы геопространственного анализа; предъявление требований к автоматизированной системе геопространственного анализа; определение задач, которые решаются с помощью автоматизированной системы геопространственного анализа; определения классов автоматизированных систем геопространственного анализа, в зависимости от их размещения; анализ мирового опыта при принятии решений в сложившейся оперативной обстановке; создание мобильной автоматизированной системы сбора геопространственных данных и ведения геопространственного анализа; определение функциональных возможностей комплекса. Используемыми методами являются: методы анализа и синтеза сложных информационных систем, методы декомпозиции многоуровневого моделирования. Получены следующие результаты. Создание мобильных автоматизированных систем (комплексов) сбора геопространственных данных и ведения геопространственного анализа. Функциональные возможности комплекса позволяют на месте собирать, систематизировать и обрабатывать все необходимые геопространственные данные и предоставлять результаты их обработки потребителю. Выводы. Тактико-технические характеристики и технологические возможности указанного мобильного комплекса обеспечивают принятие решения в соответствующих условиях, а сами комплексы могут быть использованы для обеспечения как отдельных пунктов управления, так и быть элементами сложных систем управления высших уровней.

**Ключевые слова:** геопространственный анализ, национальная безопасность и оборона, автоматизированная система, информационно-аналитическая система, геопространственные данные, мобильный комплекс, геоинформационная система.

**Creation of a mobile automatic geo-space data collaboration system and the geospatial analysis for the settlement of national security and defense objectives**

V. Podlipaev, V. Shumeiko, O. Atrasevich, I. Khyzhniak

The subject matter of the article is automated geospatial analysis systems for solving problems of national security and defense. The goal is to create a mobile and automated system, for collecting geospatial data and conducting geospatial analysis. Tasks; analysis of requirements for information and analytical systems; consideration of the structure of the automated system of geospatial analysis; nomination of requirements for an automated system of geospatial analysis; definition of tasks, which are solved by means of the automated system of geospatial analysis; definition of classes of automated systems of geospatial analysis, depending on their location; analysis of world experience in decision making in folding operational environment; creation of mobile automated systems for collecting geospatial data and conducting geospatial analysis; definition of the functional capabilities of the complex. The methods used are: methods for analyzing and synthesizing complex information systems, methods for decomposing multilevel modeling. The following results were obtained; Creation of mobile automated systems (complexes) of geospatial data collection and geospatial analysis. The functionality of the complex allows you to collect, organize and process all the necessary geospatial data on-site and provide the results of their processing to the consumer. Conclusions. The tactical and technical characteristics and technological capabilities of the specified mobile complex provide decision making in appropriate conditions. The complexes themselves can be used to provide both individual control points and be elements of complex control systems of higher levels.

**Keywords:** geospatial analysis, national security and defense, automated system, information and analytical system, geospatial data, mobile complex, geoinformation system.

# Контроль космічного та повітряного простору

УДК 538.69.41

doi: 10.26906/SUNZ.2018.6.032

В. А. Глива<sup>1</sup>, К. Д. Ніколаєв<sup>1</sup>, О. М. Тихенко<sup>1</sup>, О. П. Тимошенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, Київ, Україна

<sup>2</sup> КП «Міжнародний аеропорт Одеса», Одеса, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНІВ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ У ПРИМІЩЕННЯХ ДИСПЕТЧЕРСЬКИХ СЛУЖБ АЕРОПОРТІВ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ

Предметом представленої роботи є процеси формування комплексу фізичних факторів у приміщеннях диспетчерських служб аеродромів цивільної авіації. Мета дослідження – натурні вимірювання кількісних значень найбільш критичних фізичних факторів та надання науково обґрунтованих рекомендацій з їх нормалізації та підтримання на нормативному рівні. Для досягнення поставленої мети визначені наступні задачі: вимірювання напруженостей магнітного та електричного полів промислової частоти, індукції стаціонарного магнітного поля, густини потоків енергії електричних полів, радіочастот, напруженостей електростатичних полів та концентрації аероіонів обох знаків у повітрі робочої зони. На основі отриманих даних розроблені рекомендації з управління та підтримки стандартного рівня вимірюваних фізичних факторів. Методами досліджень є інструментальні вимірювання рівнів фізичних факторів, розрахунковий та графоаналітичний методи. У результаті вимірювань рівнів фізичних факторів у диспетчерських вежах аеропортів встановлено наступне. Напруженості магнітного та електричного полів промислової частоти, густини потоків енергії електромагнітних випромінювань радіочастот, стаціонарних магнітних полів перебувають на нормативному рівні та не потребують коригування. Повітря робочої зони є повністю деіонізованим. Це обумовлене наявністю ненормативних рівнів електризації полімерних поверхонь. Цей висновок зроблено на основі виконаного моделювання відповідних процесів та підтверджено експериментально. Для нормалізації аероіонного складу повітря рекомендовано використовувати спеціально розроблений ультразвуковий іонізатор повітря. Його перевагою є відсутність генерації озону та оксидів азоту у процесах коронних розрядів. Досліджено ефективність розробленого іонізатора повітря. Показано, що зона впливу іонізатора задовільна, при цьому відбувається підвищення відносної вологості. Це сприяє зниженню електризації поверхонь. Зроблено висновки про фактичний стан рівнів фізичних факторів. У приміщеннях диспетчерських служб аеропортів доведено необхідність нормалізації аероіонного складу повітря і надано спосіб її реалізації.

**Ключові слова:** електромагнітне поле, електростатичне поле, іонізація повітря ультразвуковий іонізатор.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день в Україні відбувається значне зростання обсягів авіаперевезень. Це обумовлює необхідність реконструкції діючих та введення у експлуатацію нових аеродромів цивільної авіації. У зв'язку з цим зростає й кількість персоналу авіадиспетчерських служб з керування повітряним рухом. Ця категорія працюючих виконує відповідальні функції, пов'язані з безпечною експлуатацією авіатранспорту, тому умови їх роботи повинні відповідати усім чинним нормативам з гігієни та охорони праці, що потребує проведення відповідних вимірювань параметрів виробничого середовища та розроблення заходів з його нормалізації та підтримання на нормативному рівні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ознайомлення з доступними джерелами дозволяє дійти висновку, що за останнє десятиріччя в Україні не приділялося достатньої уваги забезпеченню належних умов праці авіадиспетчерів. Так, у роботах [1, 2] констатується, що авіадиспетчери та інженерно-технічний персонал, що обслуговує системи навігації, радіолокації та зв'язку піддаються впливу шуму, мікрокліматичним умовам, електромагнітним полям та випромінюванням. Останнє ґрунтовне дослідження [3] виконано у 2012 році, коли інтенсивність повітряного руху та кількість персоналу були

мінімальними, а технічні засоби інших, застарілих моделей, теж були у мінімальній кількості. У цій роботі оцінювалися рівні шуму, магнітних полів промислової частоти та електромагнітних полів радіочастот. Поза увагою залишився такий електрозалежний фактор, як аероіонізація повітря. Це обумовлює необхідність обстеження умов праці персоналу з керування повітряним рухом на комплексній основі з урахуванням взаємозв'язку фізичних факторів виробничого середовища. Такі дані нададуть можливість, у разі необхідності розробити науково обґрунтовані рекомендації з нормалізації та підтримання на нормативному рівні найбільш критичних параметрів у виробничих приміщеннях.

**Мета дослідження** – провести натурні вимірювання кількісних параметрів фізичних факторів виробничого середовища приміщень з керування повітряним рухом та надати рекомендації щодо їх нормалізації.

### Виклад основного матеріалу

Для проведення вимірювань було обрано міжнародний аеропорт «Бориспіль» та міжнародний аеропорт «Київ» ім. Ігоря Сікорського, як такі у яких приміщення авіадиспетчерських служб відповідають сучасним вимогам, а інтенсивність руху повітряних суден дуже висока. У приміщеннях вимірювалися рівні електромагнітних полів, електри-



зація поверхонь, стаціонарне магнітне поле, концентрація аероіонів обох полярностей.

В умовах використання систем клімат-контролю рівні інших фізичних факторів – температура, відносна вологість та швидкість спрямованого руху повітря не має сенсу вимірювати, як заздалегідь нормативні. Вимірювання напруженості магнітного та електричного поля промислової частоти та густини потоків енергії виконувалися каліброваними приладами ПЗ-50 та ПЗ-31. Індукція магнітного поля – повіреним стаціонарним приладом МТМ-01. Концентрація аероіонів – повіреним лічильником МАС-01, напруженість електричного поля – переносним вимірювачем НЕП-П.

Оскільки основним технічним пристроєм, яким користуються фахівці з керування повітряним рухом, є комп'ютерна техніка, то згідно з чинними вимогами, рівні фізичних факторів повинні відповідати нормативу з правил охорони праці при експлуатації комп'ютерної техніки [4].

Контрольні вимірювання показали, що усі параметри в обох аеропортах відрізняються у межах похибки вимірювань, тому отримані результати надавати окремо по аеропортах («Бориспіль» та «Київ» ім. Ігоря Сікорського) не має сенсу.

Так, напруженості магнітного та електричного полів промислової частоти перебувають відповідно у межах 0,05-0,80 А/м та 7-11 В/м, що практично відповідає фоновим значенням і не може обумовлюватися впливом технологічного обладнання.

За високочастотними випромінюваннями густина потоку енергії у діапазоні 300 МГц – 30ГГц складала 0,2-2,0 мкВт/см<sup>2</sup>. Спостерігалися миттєві підвищення цього параметра до 5,0 мкВт/см<sup>2</sup>, що значно нижче гранично допустимого (10 мкВт/см<sup>2</sup>) [5]. Значення індукції стаціонарного магнітного поля перебувало у межах 49-61 мкТл, що практично відповідає індукції природного геомагнітного поля (на широті м. Києва – 49,6 мкТл).

Можна вважати, що наведені вище параметри перебувають на мінімально максимальному рівні та не потребують застосування організаційно-технічних заходів.

Випромінювання концентрації аероіонів обох знаків показало, що для великої серії вимірювань (більше 20) отримані значення перебувають за межами мінімальної чутливості приладу (менше 100 см<sup>-3</sup>). В той же час відповідний норматив [6] вимагає мінімальної концентрації позитивних іонів – 400 см<sup>3</sup>, негативних – 600 см<sup>-3</sup>.

Вимірювання напруженості електростатичного поля поверхневих електростатичних зарядів показало, що вона біля полімерних поверхонь (покриття підлоги, меблів) перебуває у межах 7,5-22,0 кВ/м, що значно перевищує гранично допустимий рівень для даних виробничих умов (0,5 кВ/м згідно) [4].

Попередні дослідження [7] свідчать, що концентрації аероіонів та ступені електризації поверхонь взаємопов'язані.

Підтвердження деіонізуючої дії електростатичних полів було обґрунтовано розробленою математичною моделлю:

$$\begin{cases} \frac{dn^-}{dt} = -\mu^- En^- / r^2 + \mu^- En_{r+1}^- / (r+1)^2 + \\ \quad + q - \alpha n^- n^+ - \beta^- n^- N^+ - \beta_0^- n^- N; \\ \frac{dn^+}{dt} = -\mu^+ En^+ / r^2 + \mu^+ En_{r+1}^+ / (r-1)^2 + \\ \quad + q - \alpha n^- n^+ - \beta^+ n^+ N^- - \beta_0^+ n^+ N, \end{cases} \quad (1)$$

де  $n^-$  та  $n^+$  – відповідно концентрації негативних та позитивних легких аероіонів, см<sup>-3</sup>;  $q$  – рівень генерації пар легких аероіонів, см<sup>-3</sup>;  $\alpha$  – коефіцієнт рекомбінації легких аероіонів;  $\beta^-$  та  $\beta^+$  – коефіцієнт осадження відповідно негативних та позитивних легких аероіонів на важких аероіонах протилежної полярності;  $N^-$  та  $N^+$  – відповідно концентрації негативних та позитивних важких аероіонів, см<sup>-3</sup>;  $\beta_0^-$  та  $\beta_0^+$  – коефіцієнт осадження відповідно негативних та позитивних легких аероіонів на нейтральних частинках;  $N$  – концентрація нейтральних частинках, см<sup>-3</sup>;  $\mu^-$  та  $\mu^+$  – рухливості відповідно негативних та позитивних легких аероіонів,  $\mu^- = 1,66$  см<sup>2</sup>/(В·с),  $\mu^+ = 1,19$  см<sup>2</sup>/(В·с);  $E$  – напруженість електростатичного поля на відстані 1 см від його джерела, В/см;  $r$  – відстань від джерела електростатичного поля до досліджуваного 1 см<sup>3</sup> повітря, см;  $n_{r-1}^+$  – концентрація легких позитивних аероіонів у об'ємі 1 см<sup>3</sup>, що суміжний з досліджуванним зі сторони джерела електростатичного поля, см<sup>-3</sup>;  $n_{r+1}^-$  – концентрація легких негативних аероіонів у об'ємі 1 см<sup>3</sup>, що суміжний з досліджуванним протилежною стороною джерела електростатичного поля, см<sup>-3</sup>. Система рівнянь (1) є загальним виразом, що описує зміну концентрації легких аероіонів під дією електростатичного поля, однак при розрахунку концентрацій на відстані 1 см вона буде мати інший вигляд, оскільки відсутне надходження позитивних аероіонів зі сторони джерела електростатичного поля.

Для перевірки адекватності отриманої моделі було проведено експеримент, суть якого полягала у вимірюванні концентрацій легких аероіонів на різних відстанях від площинного джерела електростатичного поля з напруженостями 4,8; 60; 100; 160 кВ/м (рис. 1). Для порівняння розрахункових та експериментальних результатів концентрації легких аероіонів було розраховано коефіцієнт невідповідності Тейла, який становив від 0,12 до 0,31, що говорить про адекватність розробленої моделі.

Заряджені аероіони дрейфують у бік заряджених поверхонь, полярність яких у більшості випадках непередбачувана.

У такій ситуації за певний час відбувається майже повна деіонізація повітря. В той же час заряди аероіонів частково знижують електризацію поверхонь. Але через процес тертя статичні заряди накопичуються.

Нормалізація аероіонного складу повітря можлива за рахунок використання іонізаторів повітря. Але враховуючи наявність поверхневих зарядів, процес іонізації – деіонізації буде постійним, що вимагає неперервної роботи іонізатора. Це не завжди прийнятно.

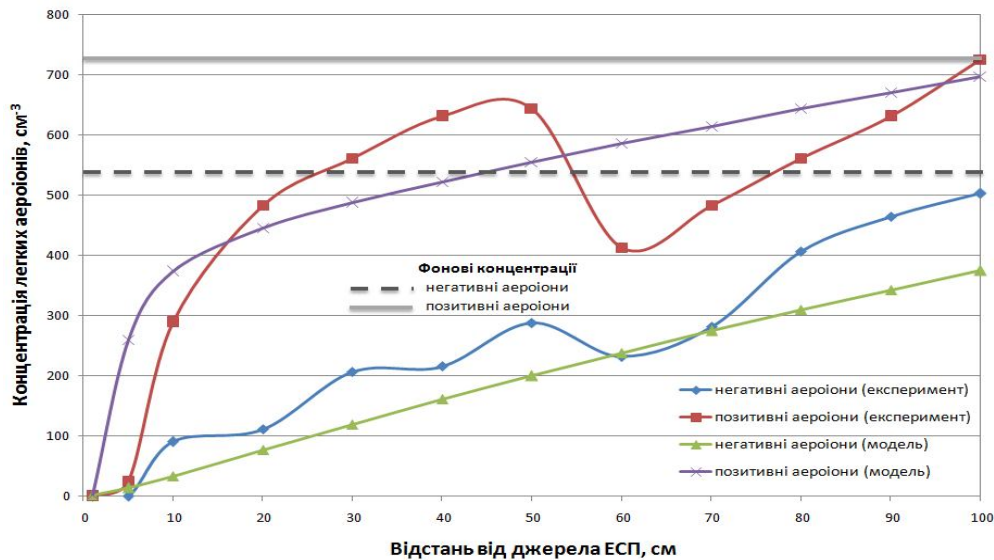


Рис. 1. Зміна розрахункових та експериментальних концентрацій легких аероіонів з відстанню (см) від джерела електростатичного поля напруженістю 4,8 кВ/м

Відомо, що усі серійні іонізатори повітря використовують принципи високовольтних коронних розрядів. При цьому, крім іонізації повітря відбувається неконтрольована генерація озону та оксидів азоту, які за певних концентрацій (за довгострокової роботи іонізатора) шкідливі для людей.

З метою уникнення цього явища запропоновано використання ультразвукового іонізатора повітря. Принцип його роботи полягає у використанні балоелектричного ефекту. При цьому відбувається не тільки іонізація повітря, а й його зволоження. А підвищення вологості повітря, у свою чергу, знижує рівні електризації поверхонь. Враховуючи, що даний іонізатор не виробляється серійно і є оригінальною розробкою, доцільно надати його конструктивні особливості та ефективність роботи. Ультразвуковий іонізатор складається з ультразвукового генератора потужністю 20 Вт, плоского випромінювача, ємності з водою, з якої тонкою трубкою вода подається на поверхню плоского випромінювача ультразвукових коливань. Генерація аеронів відбувається під час подрібнення води внаслідок балоелектричного ефекту. Обсяги генерації аероіонів регулюються кількістю води, яка подається на випромінювач.

Результати випробування ефективності іонізатора повітря наведено на рис. 2. Наведені дані свідчать, що ефективність біполярної іонізації повітря у пропонований спосіб задовільна. При чому відносна вологість повітря у радіусі впливу іонізатора (до 1,5-2,0 м) зростала на 7-10 %.

Порівнюючи отримані дані з ефективністю стандартних коронних іонізаторів, можна зробити висновок, що їх зони впливу на якість повітря збігаються, а побічні ефекти у вигляді генерації озону та оксидів азоту відсутні. Це надає змогу не обмежувати, у разі потреби, час роботи іонізатора.

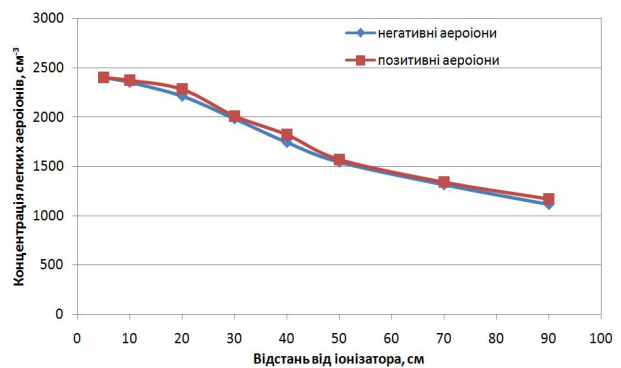


Рис. 2. Залежність концентрації легких аероіонів, що генеруються іонізатором повітря, від відстані до нього

## Висновки

1. Вимірювання у приміщеннях диспетчерських служб аеропортів рівнів електромагнітних полів промислової частоти, радіочастот, стаціонарного магнітного поля показало, що вони відповідають чинним нормативам з гігієни та охорони праці.

2. Контроль концентрації аероіонів обох полярностей у повітрі робочої зони показав, що повітря повністю деіонізоване. Джерелом деіонізації повітря є значні рівні електризації поверхонь.

3. Для нормалізації аероіонного складу повітря рекомендовано використовувати ультразвуковий іонізатор повітря, який, на відміну від коронних іонізаторів, не генерує у неконтрольованих кількостях озону та оксидів азоту.

4. Випробування ефективності ультразвукового іонізатора повітря довело його високу ефективність щодо генерації аероіонів обох полярностей з одночасним зростанням відносної вологості повітря на 7-10 %, що сприяє зниженню електризації поверхонь.

## Список літератури

1. Походзей Л. В. Гигиеническая оценка электромагнитной обстановки и виброакустических факторов на рабочих местах радиотехнического персонала аэропортов гражданской авиации / Л. В. Походзей, Н. Н. Курьеров, Н. Б. Рубцова // Медицина труда и промышленная экология. – 2004. – № 1. – С 31-35.

2. Ковалева А. И. Физиологическая оценка характера и условий труда диспетчеров по управлению воздушным движением / А. И. Ковалева, В. И. Чернюк // Гигиена труда. – 2004. – № 35. – С. 276-285.
3. Физиолого-гигиеническая оценка физических факторов и напряженности труда на рабочих местах авиадиспетчеров и инженерного персонала по обеспечению управления гражданским воздушным движением в Украине / В. И. Чернюк, В. И. Назаренко др. // Український журнал з проблем медицини праці. – 2012. – № 1. – С. 26-33.
4. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин: НПОП 0.00-1.28-10. [Чинний від 2010-19-04]. К.: Держпромгірнагляд України. – 2010. – 10 с. (Нормативний документ Держпромгірнагляду України).
5. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів: ДСанПін 3.3.6.096-2002. [Чинний від 2003-01-04]. К.: МОЗ України. – 2003. – 16 с. (Державні санітарні норми України).
6. Санитарно-гигиенические нормы допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений: СНиП 2152-80. [Введен в действие 1980-12-02]. М.: МЗ СССР. – 1980. – 7 с.
7. Сидоров О. В. Вплив електростатичних полів на концентрації легких аероіонів на робочому місці оператора ПЕОМ. / О. В. Сидоров, В. А. Глива // Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия: Безопасность жизнедеятельности. – 2013. – Вып. 71. – Т. 2. – С. 176 – 183.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М. І. Адаменко,  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків  
Received (Надійшла) 31.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.01.2019

### **Исследования уровней физических факторов в помещениях диспетчерских служб аэропортов гражданской авиации**

V. A. Glyva, K. D. Nikolaev, O. N. Tykhenko, O. P. Tymoshenko

Предметом представленной работы являются процессы формирования комплекса физических факторов в помещениях диспетчерских служб аэродромов гражданской авиации. Цель исследования - натурные измерения количественных значений наиболее критических физических факторов, предоставление научно обоснованных рекомендаций по их нормализации и поддержании на нормативном уровне. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи: измерение напряженностей магнитного и электрического полей промышленной частоты, индукции стационарного магнитного поля, плотности потоков энергии электрических полей, радиочастот, напряженностей электростатических полей и концентрации аэроионов в воздухе рабочей зоны. На основе полученных данных разработаны рекомендации по управлению и поддержке стандартного уровня измеренных физических факторов. Методами исследований являются инструментальные измерения уровней физических факторов, расчетный и графоаналитических методы. В результате измерений уровней физических факторов в диспетчерских башнях аэропортов установлено следующее. Напряженности магнитного и электрического полей промышленной частоты, плотности потоков энергии электромагнитных излучений радиочастот, стационарных магнитных полей находятся на нормативном уровне и не требуют корректировки. Воздух рабочей зоны полностью деионизированный. Это обусловлено наличием ненормативных уровней электризации полимерных поверхностей. Этот вывод сделан на основе выполненного моделирования соответствующих процессов и подтверждено экспериментально. Для нормализации аэроионного состава воздуха рекомендуется использовать специально разработанный ультразвуковой ионизатор воздуха. Его преимуществом является отсутствие генерации озона и оксидов азота в процессах коронных разрядов. Исследована эффективность разработанного ионизатора воздуха. Показано, что зона влияния ионизатора удовлетворительная, при этом происходит повышение относительной влажности. Это способствует снижению электризации поверхностей. Сделаны выводы о фактическом состоянии уровней физических факторов. В помещениях диспетчерских служб аэропортов доказана необходимость нормализации аэроионного состава воздуха и предоставлено способ ее реализации.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, электростатическое поле, ионизация воздуха ультразвуковой ионизатор.

### **The study of physical factors levels in the control tower service premises of civil aviation airport**

V. Glyva, K. Nikolaiev, O. Tykhenko, O. Tymoshenko

The subject of the presented research is the processes of forming the complex of physical factors in the premises of control tower services of airfields of civil aviation. The purpose of the study is to measure the quantitative values of the most critical physical factors and provide scientifically substantiated recommendations for their control and maintenance at the standard level. In order to achieve this goal, the following tasks were determined: measurement of the industrial frequency magnetic and electric field intensity, the induction of a stationary magnetic field, the density of the energy fluxes of the electric fields, the radiofrequencies, the intensity of the electrostatic fields, and the concentration of the aerial ions of both signs in the air of the working zone. On the basis of the received data the recommendations on the management and maintenance of the standard level of measured physical factors have been developed. Research methods are instrumental measurements of the physical factors levels, calculation and graph-analytical methods. As a result of measurements of the physical factors levels in the control towers of airports, the following facts are established. The intensity of the magnetic and electric fields of the industrial frequency, the density of energy fluxes of electromagnetic radiation of radio frequencies, the stationary magnetic fields correspond to the standard level and need no correction. The air of the working area is completely deionized. This is due to the presence of abnormal levels of electrification of polymeric surfaces. This conclusion is made on the basis of the simulation of the corresponding processes and has been confirmed experimentally. It is recommended to use a specially developed ultrasonic air ionizer to improve the aeronautical composition of the air. Its advantage is the lack of the ozone and nitrogen oxides generation in the processes of corona discharges. The efficiency of the developed air ionizer has been investigated. It is shown that the ionization zone is satisfactory, additionally providing increase in relative humidity. This contributes to the reduction of surface electrification. Conclusions are made about the actual levels of physical factors. The need for the improvement of the air ion composition at the control tower services of airports has been proved and the method for its implementation is provided.

**Keywords:** electromagnetic field, electrostatic field, ionization of air, ultrasonic ionizer.

Є. А. Гришманов, А. С. Могілатенко, Ю. А. Данілов

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

## РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСПРИЯТЛИВИХ АВІАЦІЙНИХ ПОДІЙ В ПОЛЬОТІ

В роботі розроблена інформаційна технологія автоматизованого прогнозування несприятливого авіаційних подій в польоті з використання глибоких нейронних мереж для вирішення задач розпізнавання і запобігання несприятливих авіаційних подій є мало розглянутими і вимагають подальших досліджень. Запропоновано реалізація розробленої інформаційної технології (ІТ) в чотири етапи: підготовчий, основний, додатковий та заключний. Перший (підготовчий) етап функціонування ІТ виконується до початку прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Вхідні дані задаються у вигляді архівних текстових повідомлень про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел. Вихідні дані включають топологію та вагові коефіцієнти згорткової нейронної мережі (ЗНМ), які передаються для виконання основного етапу функціонування ІТ. Основний, додатковий та заключний етапи функціонування ІТ виконуються в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Вхідними даними для відповідних етапів є текстові повідомлення про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел, а також топологія та вагові коефіцієнти ЗНМ, отримані на підготовчому етапі з використанням модулю рекурентної нейронної мережі (LSTM). Вихідними даними основного етапу функціонування ІТ є задокументована інформація щодо результатів прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Розроблена ІТ технологія дозволяє реалізувати процес автоматизованого прогнозування несприятливого авіаційних подій в польоті з використанням глибоких нейронних мереж, з чітко визначеною і взаємозалежною сукупністю етапів, з можливістю подальшого розпаралелювання виконання їх процедур, з урахуванням особливостей подання (формалізації) знань про розпізнавання несприятливих авіаційних подій в польоті по текстовій інформації, що отримана та узагальнена від різних джерел за результатами контролю повітряного простору.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, автоматизація, глибока нейронна мережа, прогнозування, несприятливі авіаційна подія, політ, літальний апарат.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Як показує аналіз документів по дослідженню авіаційних подій, на даний час в світі стан безпеки польотів у цивільній авіації залишається незадовільним [1 - 3]. Одним із сучасних підходів до вирішення проблеми підвищення безпеки польотів є впровадження в практику роботи органів систем управління повітряним рухом автоматизованих систем прогнозування і запобігання несприятливих авіаційних подій в польоті на основі використання відповідної інформаційної технології.

В даний час існує значна кількість досліджень присвячених окремим питанням автоматизованого розпізнавання несприятливих авіаційних подій в основному з використанням математичних імовірнісних методів оцінювання ризику. Однак на сучасному етапі дані імовірнісні методи не є повними, універсальними, часто не цілком адекватними, важко алгоритмізується. У зв'язку з цим виникає необхідність додаткової розробки нових моделей з використанням не тільки імовірнісного підходу. Одним з таких підходів є підхід, заснований на використанні моделей і методів штучного інтелекту. Зокрема для формального представлення процесу рішення задачі прогнозування і запобігання несприятливих авіаційних подій в польоті можуть бути використані глибокі нейронні мережі, наприклад згорткові і рекурентні нейронні мережі [4]. При цьому питання комплексного підходу до автоматизації процесу прогнозування несприятливих авіаційних подій з використанням нейронних мереж є недостатньо дослідженими. Для існуючих інформаційних технологій розпізнавання несприятливих авіаційних подій характерно

досить умовний поділ даного процесу на нечітко сформульовані етапи, що в свою чергу ускладнює управління веденням процесу розпізнавання, не дозволяє мінімізувати необхідний обсяг робіт з контролю виникнення несприятливого авіаційних подій, ускладнює розподіл функціональних обов'язків серед посадових осіб органів управління. В подальшому під інформаційною технологією будемо розуміти прийоми, способи і методи виконання функцій збору, зберігання, обробки, передачі і використання інформації [5].

Таким чином, в предметній області має місце протиріччя, що полягає, з одного боку, в необхідності розробки інформаційної технології для автоматизованих систем розпізнавання несприятливих авіаційних подій на основі нейромереж, з іншого боку, в обмежених можливостях існуючих інформаційних технологій розпізнавання несприятливих авіаційних подій при комплексному поданні і накопиченні знань як про процеси розпізнавання.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В даний час існує значна кількість робіт, присвячених окремим питанням автоматизації вирішення завдань щодо запобігання авіаційним подіям [6-10]. При цьому, безпосередньо питання розробки інформаційної технології автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті з використання глибоких нейронних мереж для вирішення задач розпізнавання і запобігання авіаційних подій є мало розглянутими і вимагають подальших досліджень.

**Мета статті.** Розробка інформаційної технології автоматизованого прогнозування несприятливого авіаційних подій в польоті з використання глибоких нейронних мереж.

## Основний матеріал

В загальному випадку інформаційна технологія автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті реалізується за рахунок використання:

- вхідних даних (текстових повідомлень про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел);
- вихідних даних (задокументована інформація щодо результатів прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті);

- модуля підготовки до функціонування (навчання), який включає процедури, що реалізують метод формування навчальної вибірки за звітами про результати розслідування авіаційних подій та навчання гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті;

- модуля обробки даних, який включає процедури попередньої обробки текстових повідомлень про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел; процедури, що реалізують метод автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на наземному пункті управління або на борту літального апарату (ЛА);

- модуля зберігання, який включає процедуру документування даних, отриманих в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті та засоби її зберігання;

- модуля передачі даних, який включає процедуру передачі результатів прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті споживачам та засоби їх передачі.

Розроблена ІТ реалізується в чотири етапи підготовчий, основний, додатковий та заключний (рис. 1, 2) та формально задається у вигляді такого кортежу:

$$IT = \langle \{P_i\}, \{O_i\}, \{D_i\}, \{Z_i\} \rangle, \quad (1)$$

де  $\{P_i\}$  – множина процедур, що виконуються на підготовчому етапі;  $\{O_i\}$  – множина процедур, що виконуються на основному етапі;  $\{D_i\}$  – множина процедур, що виконуються на додатковому етапі;  $\{Z_i\}$  – множина процедур, що виконуються на заключному етапі.

Кожний етап складається з окремих процедур, направлених на збір, обробку, зберігання та передачу інформації в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Перший (підготовчий) етап функціонування ІТ виконується до початку прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Вхідні дані задаються у вигляді архівних текстових повідомлень про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел. Вихідні дані включають топологію та вагові коефіцієнти ЗНМ, які передаються для виконання основного етапу функціонування ІТ.

Підготовчий етап функціонування ІТ включає процедури, визначені на рис. 1.

Процедура П.1 – визначення алфавіту класів несприятливих авіаційних подій в польоті та побудова розміченого набору даних. Аналізується повітряна обстановка, визначаються несприятливі авіаційні події в польоті з найбільшим пріоритетом, оп-

тимальна потужність алфавіту класів для обстановки, що склалася. Виконується побудова розміченого набору даних для кожного класу несприятливих авіаційних подій в польоті.

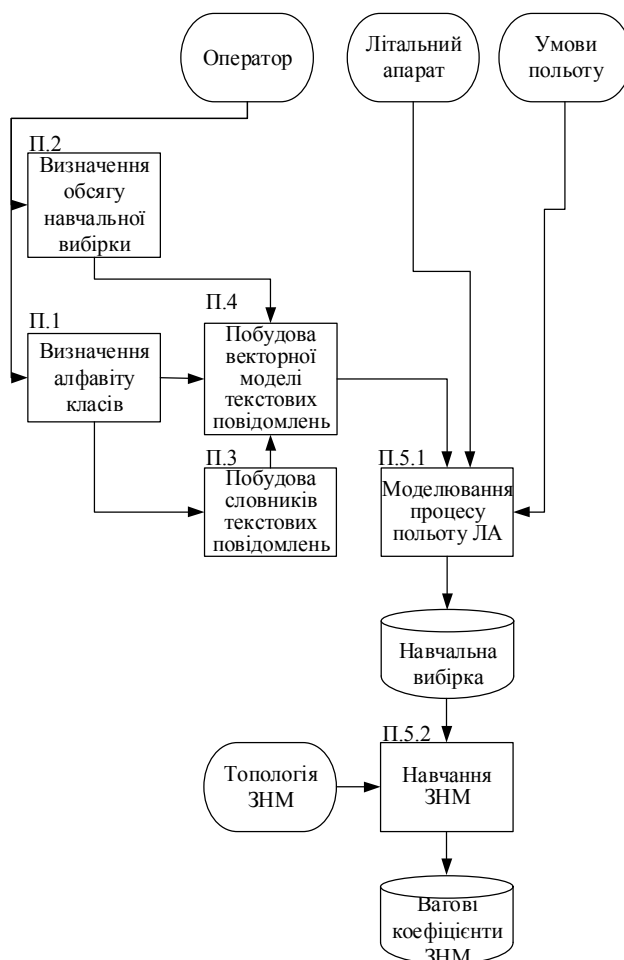


Рис. 1. Структурна схема підготовчого етапу ІТ автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті

Процедура П.2 – визначення мінімального обсягу репрезентативної навчальної вибірки у вигляді текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті. Вибірка для навчання гібридної нейронмережевої моделі для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті вважається репрезентативною, якщо виконуються умови достатності, різноманітності, рівномірності.

Процедура П.3 – побудова словників текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті. При цьому використовується міра значимості слів (словосполучень) у вигляді вагових значень слова в словнику. Використання вагових значень слова в словнику замість частоти їх зустрічі дозволяє акцентувати увагу при використанні словника на словах, унікальних для конкретного класу несприятливих авіаційних подій в польоті.

Процедура П.4 – побудова векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті по розміченому набору даних на основі моделі CBOW. Передбачений вектор моделі є важливим тільки в контексті навчання, коли резуль-

тати навчання сходяться, вихідний вектор моделі ігнорується. Підсумкова векторна модель навчальної вибірки забезпечує можливість використання глибоких нейронних мереж для аналізу текстових повідомлень про авіаційні події в реальному часі і є основою для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Процедура П.5 – навчання гібридної нейромережевої моделі і формування значень ваг шару Embedding для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті з попереднім моделюванням польоту ЛА. Процедура навчання гібридної нейромережевої моделі для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті визначається алгоритмом навчання нейронної мережі на основі модуля LSTM. Як навчальної вибірки використовуються структуровані дані у вигляді звітів про результати розслідування несприятливих авіаційних подій в польоті. На

основі технології transfer learning, на вхід ЗНМ для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті передається налаштований в процесі навчання шар Embedding. ЗНМ донавчається з використанням навчальної вибірки у вигляді неструктурованих даних про поточну обстановку в польоті.

Основний, додатковий та заключний етапи функціонування ІТ виконуються в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Вхідними даними для відповідних етапів є текстові повідомлення про ситуацію в польоті за даними від зовнішніх джерел, а також топологія та вагові коефіцієнти ЗНМ, отримані на підготовчому етапі. Вихідними даними основного етапу функціонування ІТ є задокументована інформація щодо результатів прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Основний, додатковий та заключний етапи функціонування ІТ включають процедури, визначені на рис. 2.

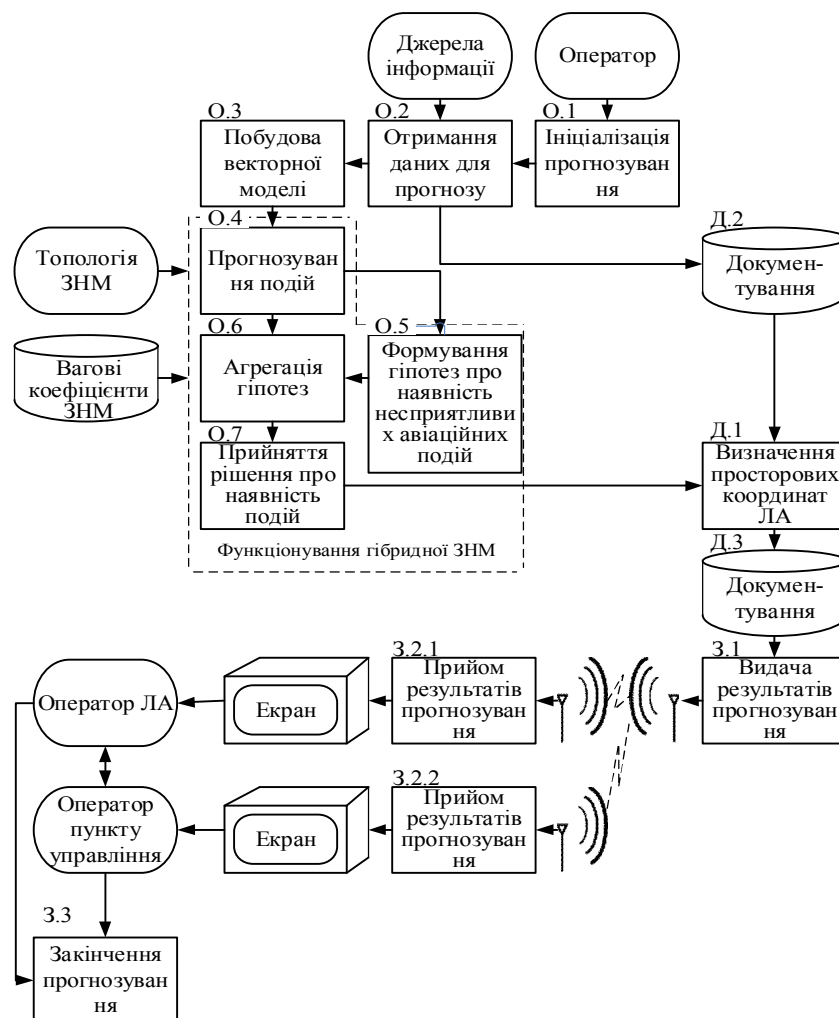


Рис. 2. Структурна схема основного, додаткового та заключного етапів ІТ автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті

Процедура О.1 – ініціалізація процесу автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Ініціалізація може здійснюватися з початком або безпосередньо під час польоту. Виконання процедури є командою на одночасний запуск процедур О.2, О.3.

Процедура О.2 – отримання даних здійснюється автоматично шляхом зчитування інформації від зовнішніх джерел інформації. Ця інформація включає дані текстових повідомлень від зовнішніх джерел в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Процедура О.3 – автоматична побудова векторної моделі текстових повідомлень від зовнішніх джерел в процесі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті. Здійснюється аналогічно відповідній процедурі побудови векторної моделі текстових повідомлень по навчальним прикладі, яка виконується при формуванні навчальної вибірки відповідно до П.4. Процедура О.4 – прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті на основі функціонування навченої гібридної нейромережевої моделі здійснюється автоматично та включає основні етапи функціонування нейромережевої моделі: представлення вхідних слів в шарі даних у вигляді тривимірного масиву (тензора); реалізація прямого проходу загальних шарів ЗНМ прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті; реалізація механізмів функціонування модулів «insertion»; реалізація прямого проходу шарів класифікації ЗНМ.

Процедура О.5 – формування гіпотез про наявність несприятливих авіаційних подій в польоті здійснюється автоматично з отриманням кожного прогнозу. Карти ознак на виході модулів «insertion» об'єднуються в один загальний вектор ознак. Він подається на вхід прихованого повнозв'язного шару, а потім надходить на вихідний шар нейронної мережі, де і розраховуються підсумкові мітки класів для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті.

Процедура О.6 – агрегація гіпотез про наявність несприятливих авіаційних подій в польоті здійснюється автоматично з отриманням вектору ознак та гіпотез про наявність несприятливих авіаційних подій в польоті згідно процедури О.5 використовуючи при цьому головну властивість нейронних мереж щодо узагальнення.

Процедура О.7 – прийняття рішення про наявність несприятливих авіаційних подій в польоті здійснюється безпосередньо оператором на основі попередніх результатів автоматичної агрегації згідно процедури О.6 та визначеного алфавіту класів.

Процедура Д.1 – визначення просторових координат об'єктів (ЛА) несприятливих авіаційних подій в польоті за даними від зовнішніх джерел інформації. Процедура Д.2 – здійснює документування отриманої інформації для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті для визначеного ЛА. Здійснюється автоматично на протязі всього

часу прогнозування. Процедура Д.3 – здійснює документування результатів автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті для визначеного ЛА. Здійснюється автоматично на протязі всього часу прогнозування.

Процедура З.1 – з отриманням інформації про виявлення несприятливих авіаційних подій в польоті, визначених в алфавіті класів, формується, та передається каналами зв'язку донесення відповідним споживачам. Здійснюється у разі виявлення несприятливих авіаційних подій в польоті. Процедура З.2 – виконується або на наземному пункті і відображає отриману інформацію на екран оператора для корегування управління ЛА, або безпосередньо на борту ЛА. Здійснюється для прийняття рішення щодо запобігання розвитку несприятливих авіаційних подій в польоті. Процедура З.3 – закінчення прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті здійснюється оператором в залежності від обстановки та у разі закінчення польоту ЛА.

Таким чином, розроблена інформаційна технологія автоматизованого прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті із застосуванням глибоких ЗНМ дозволяє приймати, обробляти, зберігати та передавати інформацію за результатами виявлення та класифікації несприятливих авіаційних подій при польоті ЛА.

## Висновки

Таким чином, запропонована в статті інформаційна технологія дозволяє реалізувати процес автоматизованого прогнозування несприятливого авіаційних подій в польоті з використанням глибоких нейронних мереж, з чітко визначеною і взаємозалежною сукупністю етапів, з можливістю подальшого розпаралелювання виконання їх процедур, з урахуванням особливостей подання (формалізації) знань про розпізнавання несприятливих авіаційних подій в польоті по текстовій інформації, що отримана та узагальнена від різних джерел за результатами контролю повітряного простору.

Перспективами подальших досліджень у цьому напрямку може бути розробка пропозицій по створенню бази знань інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для автоматизованого прогнозування несприятливого авіаційних подій в польоті.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Справка. Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства в первом полугодии 2018 г. Режим доступа: <https://mak-iac.org/upload/iblock/5b0/bp-18-1.pdf>.
2. Safety Report 2013. IATA, Montreal-Geneva, 2014..
3. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operations 1959-2008, Boeing Commercial Airplanes, Seattle, Washington 98124-2207, USA.
4. Павленко М.А. Модель функціональної діяльності оператора автоматизованої системи управління повітряним рухом / М.А. Павленко, С.Г. Шило, О.М. Дмитрієв // Системи управління, навігації та зв'язку. Випуск 4 (50). – Полтава.: ПНТУ, 2018. – С. 17-21.
5. Системи оброблення інформації. Інтелектуальні інформаційні технології. Терміни та визначення: ДСТУ 2481-94. Київ: Держстандарт України, 1994. 74 с.
6. Куклев Е.А. Оценивание уровня безопасности полетов в гражданской авиации в рискованных ситуациях на основе цепей случайных событий.// Наука и техника транспорта 2003, № 2., С. 4-14.
7. Шаров, В.Д. Методология применения комбинированного метода FMEA-FTA для анализа риска авиационного события [Текст] / В.Д. Шаров, В.П. Макаров // Научный вестник МГТУ ГА, серия Эксплуатация воздушного транспорта. Безопасность полетов, №174, 2011. - С. 18-24.

8. 5. Зубков, Б.В. Теория и практика определения рисков в авиапредприятиях при разработке системы управления безопасностью полетов [Текст] / Б.В. Зубков, В.Д. Шаров – М: МГТУ ГА, 2010. - 196 с.
9. Шаров В.Д. Методика оценки вероятности выкатывания воздушных судов за пределы ВПП при посадке // Научный вестник МГТУ ГА. Серия «Эксплуатация воздушного транспорта и ремонт авиационной техники. Безопасность полетов». 2007. - № 122. - С. 61-66.
10. Автоматизированная система прогнозирования и предотвращения авиационных происшествий при организации и производстве воздушных перевозок. Этап 4 Адаптация разработанных алгоритмов и программных средств АС: отчет о НИР / руководитель темы А.А. Бутов. – Ульяновск: УлГУ, 2012. – 317 с.
11. Павленко М. А. Напрями розробки інтелектуальних моделей та методів обробки інформації для управління процесом інформаційної підтримки прийняття рішень в автоматизованих системах управління повітряним рухом / М. А. Павленко, S. Shilo, I. Borosenets, O. Dmitriev // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2018. – Т. 5 (51). – С. 24-28. – doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.5.024.
12. Nesmiiian O. Метод аналізу та обробки інформації в СППР АСУ / O. Nesmiiian, M. Pavlenko // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2018. – Т. 5 (51). – С. 106-110. – doi:https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.5.106.
13. Процедура оцінки ступеня небезпеки ситуації обстановки для системи підтримки прийняття рішень в АСУ повітряним рухом / М.А. Павленко, С.Г. Шило, І.О. Борозенець, О.М. Дмитрієв // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2018. – 6 (52). – С. 25-29.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М. А. Павленко,

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Київ

Received (Надійшла) 24.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.01.2019

### **Разработка информационной технологии автоматизированной прогнозирования неблагоприятных авиационных событий в полете**

С. А. Гришманов, А. С. Могілатенко, Ю. А. Данілов

В работе разработана информационная технология автоматизированного прогнозирования неблагоприятного авиационных событий в полете с использованием глубоких нейронных сетей для решения задач распознавания и предотвращения неблагоприятных авиационных событий мало рассмотренными и требуют дальнейших исследований. Предложенная реализация разработанной информационной технологии (ИТ) в четыре этапа: подготовительный, основной, дополнительный и заключительный. Первый (подготовительный) этап функционирования ИТ выполняется до начала прогнозирования неблагоприятных авиационных событий в полете. Входные данные задаются в виде архивных текстовых сообщений о ситуации в полете по данным от внешних источников. Выходные данные включают топологию и весовые коэффициенты сверточных нейронной сети (СНС), которые передаются для выполнения основного этапа функционирования ИТ. Основной, дополнительный и заключительный этапы функционирования ИТ выполняются в процессе прогнозирования неблагоприятных авиационных событий в полете. Входными данными для соответствующих этапов текстовые сообщения о ситуации в полете по данным от внешних источников, а также топология и весовые коэффициенты СНС, полученные на подготовительном этапе с использованием модуля рекуррентной нейронной сети (LSTM). Исходными данными основного этапа функционирования ИТ является документированная информация о результатах прогнозирования неблагоприятных авиационных событий в полете. Разработана ИТ технология позволяет реализовать процесс автоматизированного прогнозирования неблагоприятного авиационных событий в полете с использованием глубоких нейронных сетей, с четко определенной и взаимосвязанной совокупности этапов, с возможностью дальнейшего параллелизации выполнения процедур, с учетом особенностей представления (формализации) знаний о распознавании неблагоприятных авиационных происшествий в полете по текстовой информации, полученной и обобщенная от различных источников по результатам контроля воздушного пространства.

**Ключевые слова:** информационная технология, автоматизация, глубокая нейронная сеть, прогнозирование, неблагоприятный авиационное происшествие, полет, летательный аппарат.

### **Development of information technology of automated forecasting of non-related aviation events in field**

E. Grishmanov, A. Mogilatenko, Yu. Danilov

In the work the information technology of automated forecasting of unfavorable aviation events in flight with the use of deep neural networks for solving problems of recognition and prevention of adverse aviation events is considered little and requires further research. The implementation of the developed information technology (IT) is proposed in four stages: preparatory, main, supplementary and final. The first (preparatory) stage of IT functioning is performed before the forecast of unfavorable aviation events in the flight. The input data is set in the form of archived text messages about the situation in the flight based on data from external sources. Outputs include the topology and weights of the convolutional neural network (NNN) that are transmitted to perform the main stage of the functioning of the IT. Basic, additional and final stages of IT functioning are performed in the process of forecasting unfavorable aviation events in flight. The inputs for the relevant steps are text messages about the situation in the flight based on data from external sources, as well as the topology and ZNM weights obtained at the preparatory stage using the recurrent neural network module (LSTM). The initial data of the main stage of IT functioning is the documented information on the results of forecasting unfavorable aviation events in the flight. The developed IT technology allows to realize the process of automated forecasting of unfavorable aviation events in flight using deep neural networks, with a clearly defined and interrelated set of stages, with the possibility of further parallelizing the implementation of their procedures, taking into account the peculiarities of presentation (formalization) of knowledge about the recognition of unfavorable aviation events in flight on textual information obtained and summarized from various sources on the results of airspace control.

**Keywords:** information technology, automation, deep neural network, forecasting, unfavorable aviation event, flight, aircraft.



В. С. Сторчак, В. М. Руденко

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТРЕНАЖЕРІВ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

**Предметом** вивчення статті є аналіз способів та засобів забезпечення підвищення рівня професійної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом за рахунок використання тренажерів у навчальному процесі. **Метою** роботи є визначення порядку оцінки ефективності тренажерів для підготовки диспетчерів управління повітряним рухом. **Задача** – визначити ефективність використання тренажерів у навчальному процесі, а також відповідність даного тренажера вимогам підготовки диспетчерів управління повітряним рухом. А саме, здатність вирішувати конкретні завдання тренажерної підготовки і забезпечити необхідний рівень компетентності диспетчера управління повітряним рухом. **Висновки** – застосування такого підходу дозволяє визначити, чи відповідає даний тренажер вимогам досягнення диспетчерами управління повітряним рухом необхідних компетентностей, зазначених у вимогах кваліфікаційної характеристики, і оцінити ефективність тренажера за результатами навчання на ньому.

**Ключові слова**: диспетчер управління повітряним рухом, оцінка ефективності, тренажер, тренажерний комплекс, кваліфікаційна характеристика, компетентність.

### Вступ

**Постановка задачі.** Підтримка професійно важливих якостей і їх відновлення за допомогою тренажерної підготовки – це один з основних видів підготовки диспетчера управління повітряним рухом (оператора), що дозволяє закріпити й поглибити отримані знання, придбати навички й уміння в управлінні польотами в будь яких умовах навігаційної обстановки.

Від того, наскільки продуманий зміст такої підготовки, як організований і проведений навчальний процес, буде залежати рівень професійної майстерності та безпека польотів. Зазначені обставини викликають необхідність уніфікації проведення тренажерної підготовки на всіх рівнях, починаючи з навчального закладу закінчуючи місцем постійної роботи фахівця (рис. 1).

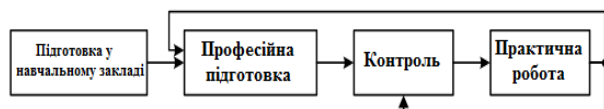


Рис. 1. Процес підготовки диспетчера управління повітряним рухом

Основним завданням застосування тренажерів в навчанні диспетчерів УПР є прищеплення певних знань, умінь і навичок, а також їх автоматизована або автоматична перевірка і оцінка їх дій. Незалежно від рівня кваліфікації, основні вимоги до диспетчерам УПР полягають в наступному [1 - 3]:

- вироблення навичок правильного прийняття управлінських рішень в умовах складної інформаційного середовища;
- вироблення навичок і умінь операторської роботи з обладнанням;
- вміння застосовувати правила і процедури для управління польотами і приймати рішення як в штатних, так і в позаштатних ситуаціях.

Вироблення навичок управління польотами є найважливішим завданням тренажерної підготовки. Невід'ємною складовою частиною такої підготовки

є вправи, сценарії яких поєднують у собі функціональні можливості тренажера і методика, яка застосовується інструктором для вирішення поставлених в програмі навчання завдань.

Тому тренажер для підготовки диспетчерів УПР повинен бути ефективним не тільки з функціональної, але і з методологічної та економічної точок зору, тобто він повинен забезпечувати досягнення показників навчання за наступними критеріями [1, 4, 5]:

- повнота охоплення навчальних завдань, орієнтованих на кожного оператора;
- відповідність програми цілям і змісту курсу підготовки диспетчерів УПР;
- витрати на тренажерне забезпечення підготовки.

Перераховані критерії дозволяють оцінити ефективність тренажерної підготовки диспетчерів УПР, порівняти тренажери і забезпечити оцінку динаміки їх розвитку [5, 6].

Ефективність застосовуваного тренажера є одним з основних показників, що визначають ефективність як самого навчання, так і підсумкової оцінки набутих навичок та вмінь.

Тому актуальна розробка методики оцінки ефективності тренажерів для підготовки диспетчерів управління повітряним рухом.

**Аналіз літератури.** Оцінка ефективності застосування в навчальному процесі тренажерів як функція їх якості розглядалася в роботах таких вчених, як: Недзельський І.І., Шукшунов В.Є., Кобзарев Ю. та ін. [7–10]. У цих роботах запропоновані оцінки ефективності, засновані на аналізі однієї або декількох окремих характеристик, не враховують методичних і організаційних особливостей використання тренажерів у навчальному процесі, тобто їх дидактичних можливостей.

В роботі Ралля В. Ю. розглядалася оцінка економічної ефективності навчання з використанням тренажерів на основі порівняння годинної вартості експлуатації тренажера і моделюється їм реальної техніки, яка застосовується в навчальних цілях [11].

Крім того, також розглядався коефіцієнт ефективності тренування, що показує, якій кількості годин використання в навчальних цілях реальної техніки відповідає одна година тренування на тренажері.

В роботі Айзінова С. Д. розроблена методика оцінки ефективності спеціалізованих комп'ютерних морських тренажерів і створення на її основі експертної системи вибору найбільш ефективного (оптимального) тренажерного комплексу, що забезпечує максимальну ефективність процесу навчання, а також проведення аналізу тренажерів для підготовки морських фахівців [12].

Однак в літературі недостатньо розглянуті питання оцінки ефективності тренажера для підготовки диспетчерів управління повітряним рухом.

Відомі оцінки ефективності тренажерів або ґрунтуються тільки на економічних показниках, що не враховують ефективність використання тренажерів у навчальному процесі, або використовують для порівняння окремі показники.

Особливо слабо вивчені дидактичні характеристики тренажерів, що визначають ефективність тренажерного комплексу як технічного засоби навчання.

**Метою статті** є визначення порядку оцінки ефективності тренажерів для підготовки диспетчерів управління повітряним рухом (операторів).

### Результати досліджень

Для визначення ефективності використання тренажера в навчальному процесі необхідно врахувати вимоги кваліфікаційних характеристик і факторів, що визначають відповідність тренажера конкретним завданням підготовки диспетчерів УПР [5, 6, 12].

Для цього введемо показник адекватності кваліфікаційної характеристики (F) і сформуємо склад факторів (K), що впливають на оцінку адекватності та ефективності використання тренажера в процесі підготовки диспетчера УПР [5, 6, 12].

Таким чином, запропоновані оцінки тренажерів визначають відповідність даного тренажера вимогам підготовки диспетчера УПР. А саме, здатність вирішувати конкретні завдання тренажерної підготовки і забезпечити необхідний рівень компетентності диспетчера УПР.

Для оцінки ефективності тренажера необхідно визначити:

1. Які завдання і вправи можуть бути відпрацьовані на тренажері?
2. Які компетентності, із зазначених у кваліфікаційній характеристиці диспетчера УПР, можуть бути забезпечені тренажером?
3. Які функції обладнання АРМ реалізовані в тренажері?
4. Які методи оцінювання реалізовані в тренажері?

Розглянемо оцінку адекватності тренажера для підготовки диспетчерів УПР.

Адекватність кваліфікаційній характеристиці визначається чотирма факторами.

#### 1. Повнота вирішуваних завдань $K_1$ .

Повнотою завдань є відношення кількості завдань, що забезпечуються тренажером до повного числа завдань курсу професійної підготовки диспетчера УПР.

$$K_1 = \frac{K_{p1}}{K_{необх1}}, \quad (1)$$

де  $K_{p1}$  - кількість завдань, які дозволяє реалізувати тренажер;

$K_{необх1}$  - кількість завдань, які необхідно виконати диспетчеру УПР з повного числа завдань (компетентностей) кваліфікаційної характеристики і курсу професійної підготовки.

Першим слід розглянути той варіант, коли тренажер дозволяє вирішувати всі завдання, тобто забезпечується повнота їх вирішення, а значить,  $K_1 = 1$ .

Другий варіант - тренажер дозволяє вирішувати частину поставлених програмою завдань (розраховується, скільки завдань з необхідного числа тренажер дозволяє вирішувати),  $0 \leq K_1 \leq 1$ .

Третій можливий варіант - тренажер не дозволяє вирішити жодної задачі з кваліфікаційної характеристики фахівця,  $K_1 = 0$ .

#### 2. Конфігурація тренажера $K_2$ .

Відповідність конфігурації тренажера завданням тренажерної підготовки. Конфігурація визначається як сукупність програмного забезпечення та апаратних засобів, що забезпечують рішення певного переліку завдань.

Стосовно до тренажерів для підготовки диспетчерів УПР цей параметр визначає можливість навчання процедурам, методикам і практики управління ПС при вирішенні різних завдань. Таким чином, фактор конфігурації визначає можливість створення тренажером інтегрованого інформаційного середовища для відпрацювання дій в реальному часі.

$$K_2 = \frac{K_{p2}}{K_{необх2}}, \quad (2)$$

де  $K_{p2}$  - кількість конфігураційних елементів АРМ об'єкта АСУ, які дозволяє реалізувати тренажер (пультове обладнання, інформаційна модель, зв'язок, засоби відображення та ін.);

$K_{необх2}$  - кількість конфігураційних елементів АРМ реального об'єкта АСУ.

Якщо  $K_2 = 0$ , то конфігурація тренажера не відповідає вимогам забезпечення кваліфікаційної характеристики.

Якщо  $0 < K_2 < 1$ , то конфігурація тренажера дозволяє забезпечити відпрацювання завдань для придбання необхідних умінь і навичок в тій чи іншій мірі.

3. Ступінь забезпечення вимог кваліфікаційної характеристики  $K_3$ .

Даний фактор характеризує те, наскільки в кількісному вираженні виконані вимоги щодо прищеплювання навичок, умінь і знань в тренажері.

$$K_3 = K_{p_3} / K_{необх_3}, \quad (3)$$

де  $K_{p_3}$  - кількість компетенцій зазначених у кваліфікаційній характеристиці, які забезпечуються тренажером;

$K_{необх_3}$  - кількість всіх компетенцій зазначених у кваліфікаційній характеристиці.

При проведенні оцінки фактору  $K_3$  «Ступінь забезпечення вимог кваліфікаційної характеристики» слід врахувати, що чим вище результат підсумкової оцінки компетентності після закінчення навчання, тим вище ефективність тренажера.

Тоді маємо:

$K_3 = 1$  - тренажер повністю забезпечує рівень компетентності учня;  $K_3 = 0$  - тренажер не забезпечує рівень компетентності учня;  $0 < K_3 < 1$  - тренажер частково забезпечує рівень компетентності учня.

4. Якість оцінки діяльності оператора  $K_4$ .

При оцінці фактору  $K_4$  повинні враховуватися положення керівних документів:

- тренажер повинен забезпечувати можливість перевірки досягнення рівня підготовки диспетчером УПР;

- тренажер повинен мати встановлені і явно виражені критерії оцінювання з тим, щоб забезпечити надійність і одноманітність оцінки;

- тренажер повинен забезпечувати можливість тому, кого навчають продемонструвати здатність виконувати завдання безпечно і ефективно;

- тренажер здатний задовольняти конкретним цілям оцінки і навчання.

$$K_4 = K_{p_4} / K_{необх_4}, \quad (4)$$

де  $K_{p_4}$  - кількість критеріїв оцінки дій оператора (час виконання операцій, алгоритм дій, правильність виконання операцій та ін.), які забезпечуються тренажером;  $K_{необх_4}$  - кількість всіх критеріїв оцінки дій оператора, зазначених в курсі професійної підготовки.

Отже, якщо тренажер має автоматичні або автоматизовані засоби оцінки діяльності оператора, що використовують чіткі критерії і методику оцінювання, то  $K_4 = 0$ .

Якщо тренажер не дозволяє здійснити оцінку діяльності оператора, то  $K_4 = 0$ .

Якщо тренажер не володіє автоматичними або автоматизованими засобами оцінки діяльності оператора, але дозволяє здійснити оцінку знань, умінь, навичок учня, коли інструктор застосовує критерії та методику оцінки, то  $0 < K_4 < 1$ .

Для оцінки ефективності тренажера необхідно об'єднати приватні фактори і показник ефективності тренажера.

Як показник ефективності визначимо функціонал  $Q$ , що залежить від приватних чинників  $K_i$

$$Q = Q(W_i \cdot K_i), i = 1 \dots M, \quad (5)$$

де  $M$  - число факторів показника адекватності кваліфікаційної характеристики;

$W_i$  - вагові коефіцієнти, що враховують важливість окремих факторів в загальній оцінці ефективності.

Вагові коефіцієнти приймають значення від одиниці (дуже важливий параметр) до нуля (параметр не враховується). Вибір значень  $W_i$  залежить від призначення системи.

Таким чином, для визначення ефективності тренажера необхідно ранжувати параметри  $K_1 \dots K_n$ .

Слід зазначити, що наведені нами чотири фактори показника адекватності кваліфікаційної характеристики тренажера не рівнозначні. Кожен з них має певне вагове значення, що відрізняє один від іншого.

Таким чином, в разі, якщо показник  $Q$  (ефективність тренажера) дорівнює одиниці або потрапляє в інтервал значень 0,8-1,0, то тренажер можна віднести до найвищого класу відповідності, що означає наступне:

1) тренажер відповідає цілям і задачам підготовки, на ньому можна забезпечити навчання і оцінку за всіма компетентностями, зазначеним у кваліфікаційній характеристиці фахівця;

2) тренажер володіє достатньою і необхідною функціональною повнотою, реалізує всі важливі функції обладнання АРМ і забезпечує виконання всього необхідного переліку завдань навчання, тобто має повний набір баз даних, необхідних для виконання функціональних завдань і завдань, які формують вихідну інформацію.

У разі, якщо показник  $Q$  потрапляє в інтервал значень 0-0,5 то тренажер можна віднести до нижчого класу відповідності, що означає наступне:

1) тренажер не в повній мірі відповідає цілям і задачам підготовки, з його допомогою неможливо повністю забезпечити необхідну кваліфікаційну характеристику;

2) тренажер не володіє достатньою і необхідною функціональною повнотою, тобто не забезпечує виконання всього необхідного переліку завдань навчання, при цьому набір баз даних необхідної для виконання функцій і завдань інформації відсутній або не актуалізований;

## Висновки

Застосування такого підходу дозволяє визначити, чи відповідає даний тренажер вимогам досягнення диспетчерами управління повітряним рухом необхідних компетентностей, зазначених у вимогах кваліфікаційної характеристики, і оцінити ефективність тренажера за результатами навчання на ньому.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тренажерные комплексы и тренажеры: технологии разработки и опыт эксплуатации / [В.Е. Шукшунов, В.В. Циблиев, С.И. Потоцкий и др.]; под ред. В.Е. Шукшунова. – М.: Машиностроение, 2005. – 383 с.
2. Образцов П.И. Формирование компетентности у военных специалистов в ВВУЗЕ средствами профессионально-ориентированной технологии обучения / П.И. Образцов, А.И. Козачок; Академия ФСО России. – Орел, 2005. – 164 с. – Деп. в ВИНТИ 15.06.05, №846–В2005.
3. Павленко М.А. Принципы построения перспективных тренажерных систем подготовки операторов АСУ динамическими объектами / М.А. Павленко, А.И. Тимочко, Г.С. Степанов, В.Г. Чернов // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – К., 2014. – Вып. 1 (19). – С. 112-117.
4. Шукшунов В.Е. Опыт и новые концепции разработки тренажерных комплексов для подготовки космонавтов / В.Е. Шукшунов, С.И. Потоцкий, В.В. Фоменко, Г.В. Безруков // Авиакосмическое приборостроение. – 2003. – № 9. – С. 59-64.
5. Загретдинов И.Ш. Обеспечение комплексной адекватности тренажеров для электроэнергетики – основа безаварийной работы оперативного персонала / И.Ш. Загретдинов, С.И. Магид, С.В. Мищеряков, Л.В. Сысоева, Е.П. Архипова. – М.: Апарт, 2003. – 32 с.
6. Сазонов А.Е. Методические оценки эффективности обучения на тренажерах / А.Е. Сазонов, С.Д. Айзинов // Эксплуатация морского транспорта. – СПб., 2005. – Вып. 44. – С. 38-40.
7. Недзельский И.И. Морские навигационные тренажеры: проблемы выбора / И.И. Недзельский. – СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2002. – 220 с.
8. Шукшунов В.Е. Тренажерные системы / В.Е. Шукшунов, Ю.А. Бакулов, В.Н. Григоренко. – М.: Машиностроение, 1981. – 256 с.
9. Кобзарев Ю. Комплексный тренажер по кораблевождению / Ю. Кобзарев, Б. Головань // Морской сборник. – 1993. – № 5. – С. 27-29.
10. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава. ПНТУ, 2018. – Вып. 1(47). – С. 110-113.
11. Ралль В.Ю. Тренажеры и имитаторы ВМФ / В.Ю. Ралль, О.Л. Макарьев, В.С. Поляков. – М.: ВИ, 1969. – 215 с.
12. Айзинов С.Д. Теоретические и методические основы создания экспертной системы по оценке эффективности морских тренажеров (на примере тренажеров ГМССБ): дис. ... канд. тех. наук : 05.12.13 / Айзинов Сергей Дмитриевич. – СПб., 2007. – 168 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. І. Тимочко,

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

Received (Надійшла) 01.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

### Оценка эффективности тренажеров для подготовки диспетчеров управления воздушным движением

В. С. Сторчак, В. Н. Руденко

**Предметом** изучения статьи является анализ способов и средств обеспечения повышения уровня профессиональной подготовки диспетчеров управления воздушным движением за счет использования тренажеров в учебном процессе. **Целью** работы является определение порядка оценки эффективности тренажеров для подготовки диспетчеров управления воздушным движением. **Задача** - определить эффективность использования тренажеров в учебном процессе, а также соответствие данного тренажера требованиям подготовки диспетчеров управления воздушным движением. А именно, способность решать конкретные задачи тренажерной подготовки и обеспечить необходимый уровень компетентности диспетчера управления воздушным движением. **Выводы** - применение такого подхода позволяет определить, соответствует ли данный тренажер требованиям достижения диспетчерами управления воздушным движением необходимых компетенций, указанных в требованиях квалификационной характеристики и оценить эффективность тренажера по результатам обучения на нем.

**Ключевые слова:** диспетчер управления воздушным движением, оценка эффективности, тренажер, тренажерный комплекс, квалификационная характеристика, компетентность.

### Evaluation of effectiveness simulators for training air traffic controllers

V. Storchak, V. Rudenko

**The subject of the study** in the article is an analysis of ways and means to improve the determination of directions of increase of efficiency of professional preparation of air traffic controllers. **The purpose** is to determine the order of evaluation of the effectiveness of simulators for the preparation of air traffic controllers. **The task** to determine the effectiveness of the use of simulators in the educational process, as well as the compliance of this simulator with the requirements for training air traffic controllers. Namely, the ability to solve specific tasks of simulator training and to provide the necessary level of competence of the air traffic controller. **Conclusion** – the use of such an approach makes it possible to determine whether this simulator meets the requirements for air traffic controllers to achieve the necessary competencies specified in the qualification requirements and evaluate the simulator's effectiveness based on the results of training on it.

**Keywords:** air traffic controller, performance evaluation, simulator, simulator complexes, qualification characteristics, factors, competence.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ І ПРОГНОЗУВАННЯ ДВОКОНТУРНОГО І ТРИКОНТУРНОГО АДАПТИВНИХ ЕКСПОНЕНЦІАЛЬНИХ ФІЛЬТРІВ

**Вступ.** У статті проведено порівняльний аналіз якості фільтрації та прогнозування адаптивних експоненціальних двоконтурного і триконтурного фільтрів. Головна відмінність між дво- і триконтурним фільтрами полягає у кількості контурів фільтрації, які використовуються для оцінки якості фільтрації, та їх програмна реалізація. **Цілі.** Розглянути доцільність використання триконтурного фільтра-предиктора у системах керування у ролі алгоритму обробки інформації, у порівнянні із двоконтурним. **Методологія.** Було застосовано концепції аналізу часових рядів та математичне моделювання в пакеті Matlab. **Результати.** Отримано характеристики середньоквадратичних похибок фільтрації і прогнозу в залежності від кількості кроків, на які здійснюється прогнозування, та кількості кроків, що використовуються для оцінювання якості фільтрації, для двох варіацій фільтрів. **Оригінальність.** Вперше було визначено зв'язок між середньоквадратичними похибками (фільтрації та прогнозу) та наступними параметрами: кількість кроків, на які здійснюється прогнозування; кількість кроків, які алгоритм обробки даних використовує для оцінки якості процесу фільтрації, для дво- та триконтурного алгоритмів фільтрації та прогнозування. Проаналізовано актуальність застосування двох різних алгоритмів адаптації коефіцієнта згладжування в залежності від ресурсів ЕОМ. **Практичне значення.** Здійснено реалізацію запропонованих алгоритмів на мові програмування Matlab, які можуть бути інтегровані в різні автоматизовані системи управління з метою фільтрації та прогнозування значень спотвореного шумами сигналу. Це дослідження дає можливість обрати ефективний алгоритм обробки даних в залежності від поставленої задачі.

**Ключові слова:** алгоритм обробки даних, експоненціальне згладжування, шум, прогноз, корисний сигнал, адаптація, коефіцієнт згладжування.

### Вступ

Дво- та триконтурні алгоритми фільтрації та прогнозування [1, 2] можуть бути застосовані в системах автоматичного керування для визначення корисного сигналу як в каналах вимірювання так і в каналах керування. Найбільш ґрунтовна різниця між ними лежить у ресурсах використання ЕОМ та в принципі реалізації у вигляді скрипту в середовищі, в якому відбувається реалізація даного алгоритму.

Подібно до фільтра, адаптація якого функціонує із використанням МНК [3, 4] якість фільтрації та прогнозування залежать від параметрів фільтрації, що задаються на початку роботи. На відміну від попередньої варіації фільтра дво- і триконтурні фільтри, окрім як від форми сигналу, залежать від двох параметрів, а саме:

$m$  – кількість кроків, на які здійснюється прогнозування;

$e_t$  – кількість кроків, що використовуються алгоритмом для оцінки якості фільтрації.

### Постановка проблеми

Мета даного дослідження полягає у визначенні діапазону значень параметрів  $m$  і  $e_t$ , при встановленні яких, алгоритм обробки інформації показує найкращі результати. Для цього було проведено моделювання в середовищі Matlab, задачею якого було отримання характеристик, що визначають зв'язок якості фільтрації і прогнозування від зміни вищеза-

значених параметрів –  $\varepsilon_{RMS-filt}(m, e_t)$  – середньоквадратична похибка фільтрації і  $\varepsilon_{RMS-forec}(m, e_t)$  – середньоквадратична похибка прогнозу із урахуванням зміни характеристик вхідного сигналу. Корисний сигнал може бути описаним у вигляді функції:

$$x(k) = K_{max} \cdot \sin\left(\frac{k}{K_f}\right). \quad (1)$$

Протягом досліджень його амплітуда і частота змінювались шляхом зміни  $K_{max}$  та  $K_f$ . Параметр, що визначав амплітуду шумів, змінювався в часі, стрибкоподібно зростаючи і спадаючи.

Результати досліджень представлені у вигляді просторових графіків залежностей  $\varepsilon_{RMS-filt}(m, e_t)$  і  $\varepsilon_{RMS-forec}(m, e_t)$ .

### Аналіз результатів моделювання

1. Залежність похибки фільтрації  $\varepsilon_{RMS-filt}(m, e_t)$  та похибки прогнозу  $\varepsilon_{RMS-forec}(m, e_t)$  при вхідному сигналі (1) з  $K_{max}=1$ ;  $K_f=2$ .

Подібно до фільтра, адаптація якого базується на МНК [3], зі зростанням параметра  $e_t$  коливання значення похибки фільтрації, що можна спостерігати на ділянці значень  $e_t$  від 5 до 20, зменшується, але подальше збільшення даного параметра веде собою зростання значень середньоквадратичної похибки фільтрації. Розглядаючи роботу дво- і триконтурного фільтра варто відзначити різницю величин похибок фільтрації при відносно невеликих значеннях  $e_t$  – 1-5.

Порівняно із характеристиками зображеними на рис. 1 а) значення середньоквадратичної похибки на графіках (рис. 1, б)) перевищує приблизно на 25%. Частота появи недопустимо великих значень похибок фільтрації у роботі триконтурного фільтра при різних значеннях параметра  $m$  перевищує дане значення у випадку використання двоконтурного фільтра приблизно на 40-50%. Ці факти накладають обмеження на використання триконтурного фільтра за відсутності або недостатні априорної інформації про характер вхідного сигналу.

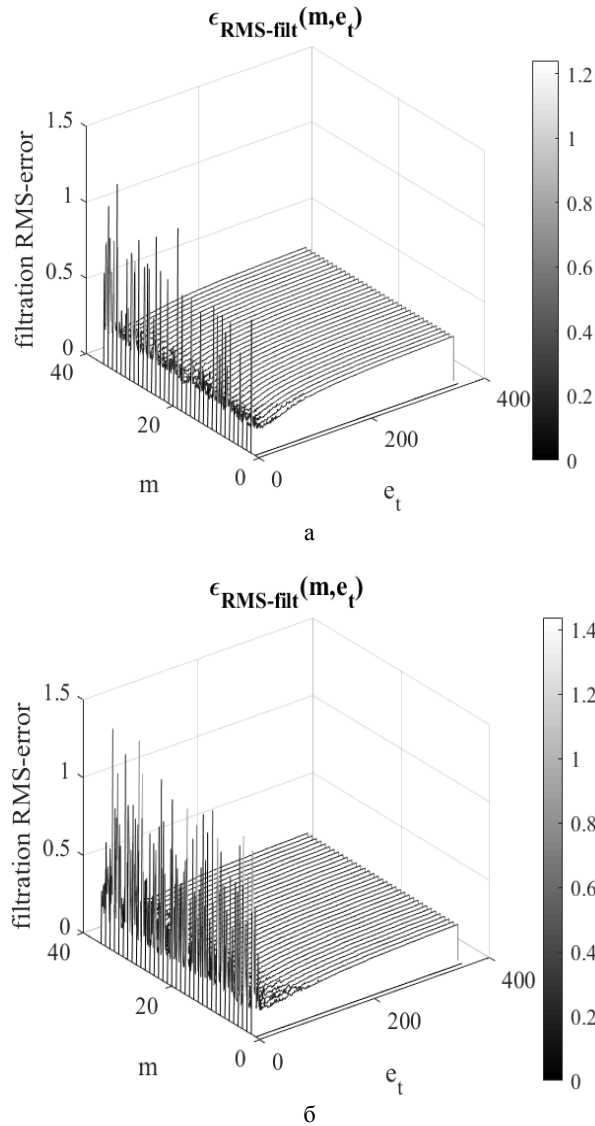


Рис. 1. Залежності середньоквадратичних похибок фільтрації від зміни параметрів  $m$  і  $e_t$ : а – двоконтурного фільтра; б – триконтурного фільтра

Значення параметра  $m$  не впливає на характер залежності  $\epsilon_{RMS-filt}(m, e_t)$ , але у даному випадку його зміна була використана для збору статистичних даних, таких як частота появи високих значень похибки при різних значеннях параметру  $e_t$ .

Характер залежностей, що зображені на рис. 2 визначається зміною параметра  $m$ . Можна зробити висновок, що значення параметру  $e_t$  не може бути менше 2, незалежно на яку кількість кроків здійснюється прогнозування.

У випадку, якщо фільтр використовується для визначення прогнозу, встановлення значення  $\alpha_0$  (початкове значення коефіцієнту згладжування), що приблизно відповідає рівню шумів, дозволяє значно зменшити час адаптації і втрати корисної інформації. Дане моделювання здійснювалось для 2000 значень  $i$ , якщо кількість вимірних значень сигналу збільшується, кривизна зростання характеристик похибки прогнозу, що показані на рис. 2, зменшуватиметься.

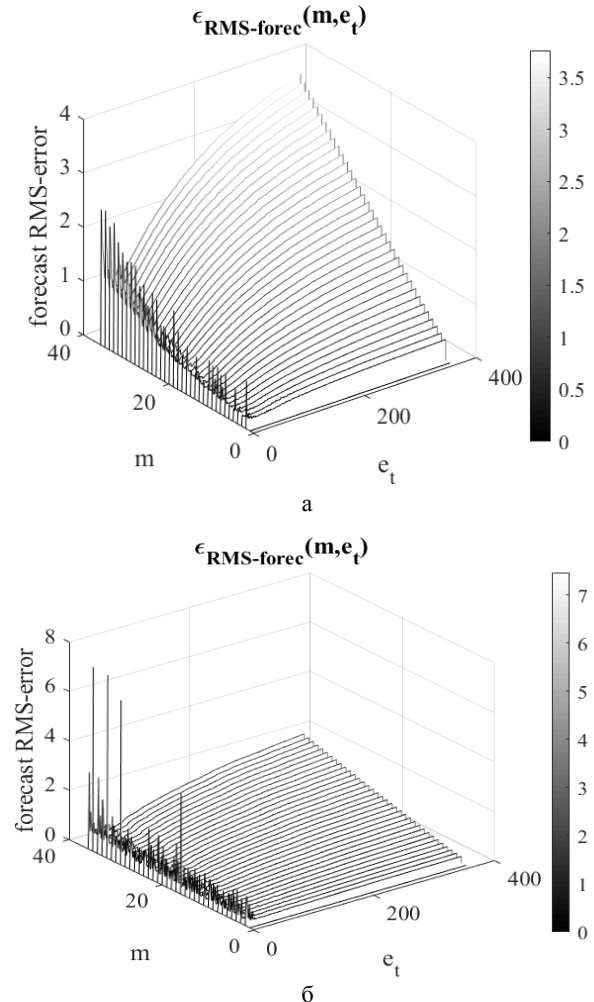


Рис. 2. Залежності середньоквадратичних похибок прогнозу від зміни параметрів  $m$  і  $e_t$ : а – двоконтурного фільтра; б – триконтурного фільтра

Для використання дво- та триконтурного фільтрів у якості предиктора при зменшенні кількості вимірів сигналу зростає необхідність наявності априорної інформації для забезпечення необхідної якості прогнозування, а саме співвідношення шум-сигнал для визначення  $\alpha_0$  і інформацію, яка б описувала поведінку системи і визначала форму сигналу, що надходить на вхід фільтра.

Триконтурний фільтр потребує значних ресурсів реалізації, зменшуючи середнє значення похибки фільтрації всього на 4.6%, а похибка прогнозу зменшується менше ніж на 1%. Тому його застосування потребує подальших досліджень і оптимізації.

2. Залежність похибки фільтрації  $\epsilon_{RMS-filt}(m, e_t)$  та похибки прогнозу  $\epsilon_{RMS-forec}(m, e_t)$  при вхідному сигналі (1) з  $K_{max}=1$ ;  $K_f=1$ .

Даний дослід моделює роботу фільтрів в умовах швидкої, порівняно із попереднім дослідом, зміни корисного сигналу. У даному випадку великі значення похибок фільтрації при відносно малих значеннях параметру  $e_t$  (рис. 3) спостерігаються у обох модифікаціях фільтра. Це вказує на те, що принцип роботи триконтурного фільтра в умовах швидкої зміни корисного сигналу визначає якість роботи кожного контуру на основі подвійної умови і запобігає зміні коефіцієнта згладжування у випадку недостатньої кількості інформації про якість згладжування.

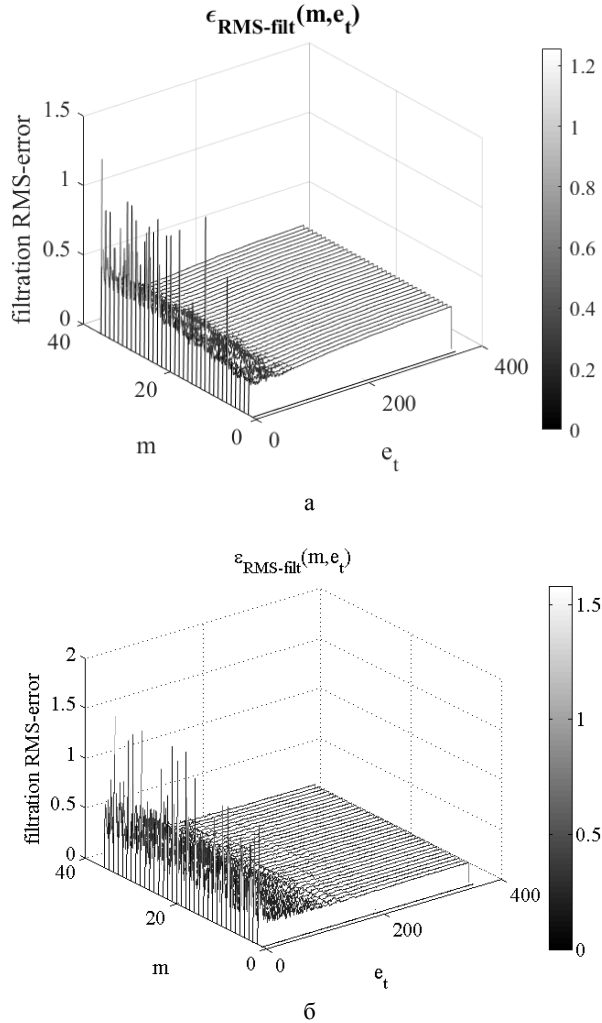


Рис. 3. Залежності середньоквадратичних похибок фільтрації від зміни параметрів  $m$  і  $e_t$ :  
а – двоконтурного фільтра;  
б – триконтурного фільтра

Розглядаючи графіки залежностей похибок прогнозу  $\epsilon_{RMS-forec}$  (рис. 4) можна визначити, що двоконтурний фільтр, навіть при найменших значеннях параметру  $e_t$  зберігає тенденцію зростання похибки прогнозу в залежності від зростання кількості кроків, на які здійснюється визначення прогнозованих значень.

Порівнюючи отримані характеристики дво- і триконтурного фільтрів бачимо, що у роботі останнього спостерігаються критичні величини похибок прогнозу. Це підтверджує неможливість його використання із малими значеннями параметру  $e_t$  і зме-

ншує можливість його використання у системах із великими кроками дискретизації вимірювальних пристроїв.

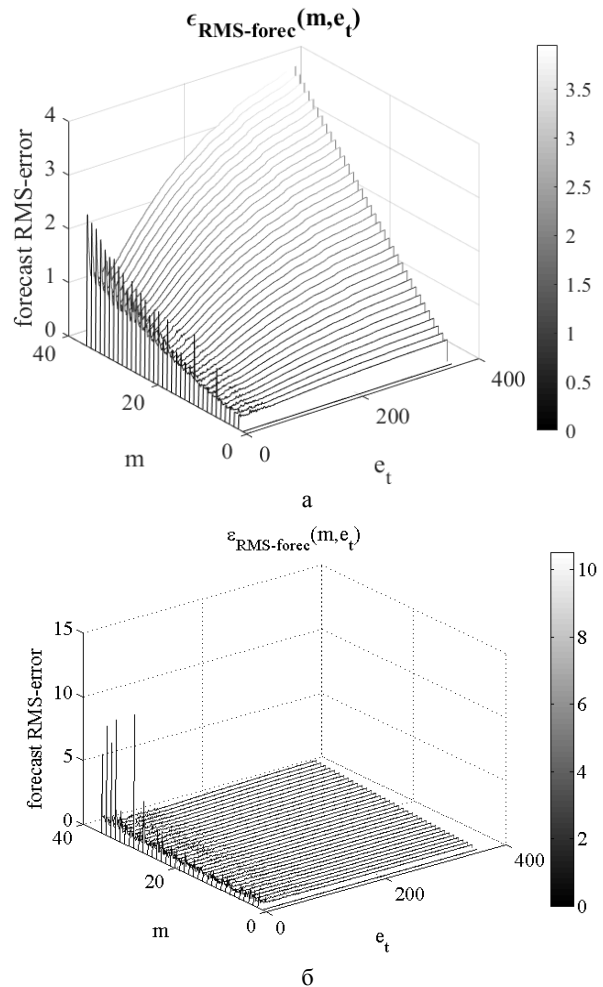
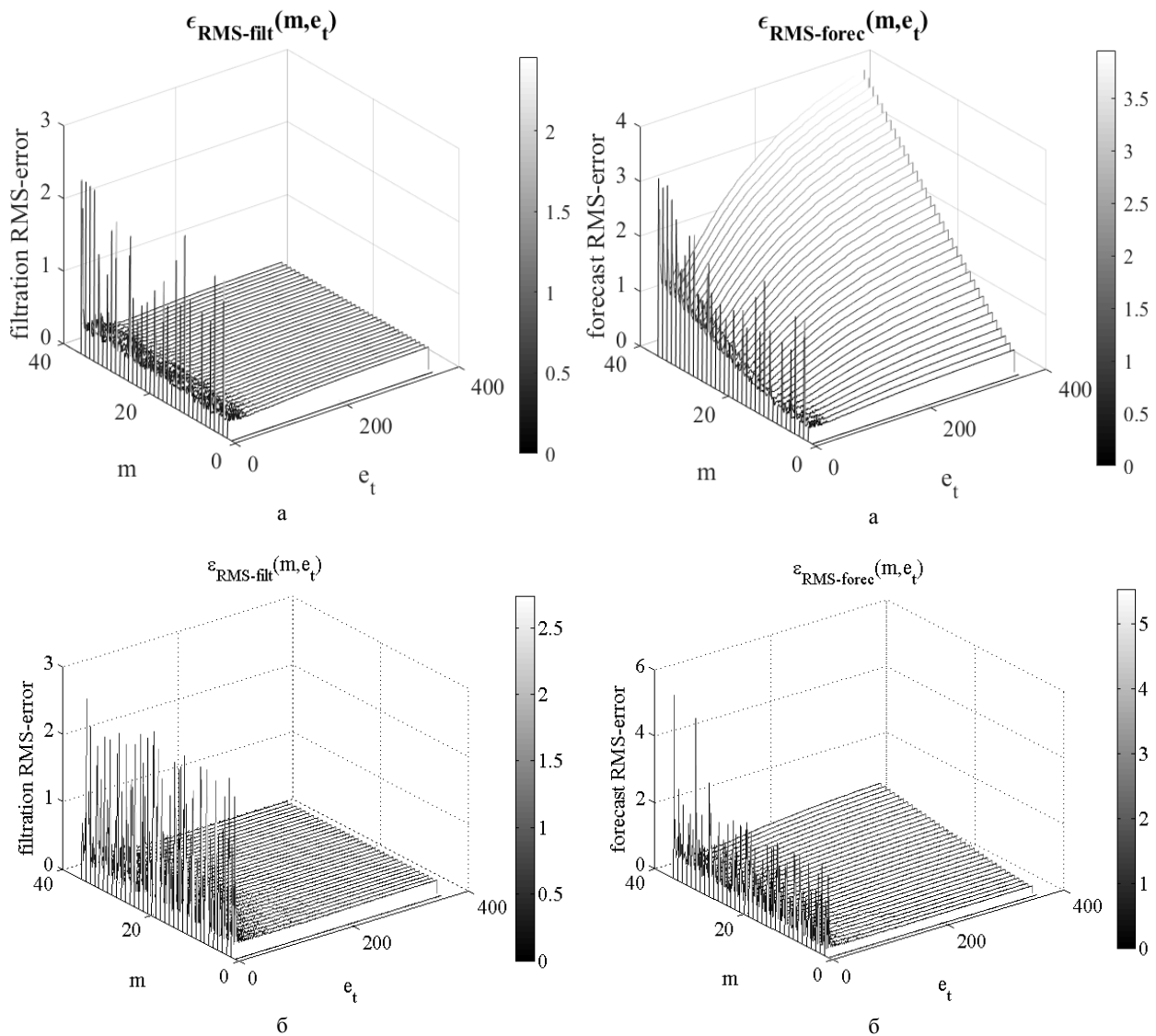


Рис. 4. Залежності середньоквадратичних похибок прогнозу від зміни параметрів  $m$  і  $e_t$ :  
а – двоконтурного фільтра;  
б – триконтурного фільтра

3. Залежність похибки фільтрації  $\epsilon_{RMS-filt}(m, e_t)$  та прогнозу  $\epsilon_{RMS-forec}(m, e_t)$  при вхідному сигналі (1) з  $K_{max}=2$ ;  $K_f=2$ .

Порівнюючи характеристики зображені на рис. 5 і 6 із попередніми дослідженнями можна зробити висновок, що значення параметру  $e_t$  відіграє вирішальну роль у якості фільтрації і прогнозування для даних модифікацій фільтрів. Його значення визначає кількість кроків для оцінювання якості згладжування протягом процесу адаптації до рівня шумів. Підбір даного параметру залежить від апріорних даних про форму корисного сигналу і швидкість його зміни.

Зміна параметру  $m$  впливає на якість прогнозу. Чим більший час на який потребується здійснити визначення прогнозованих значень, тим більше значення похибки прогнозу буде спостерігатись. По характеристиках отриманих із вищеписаних експериментів можна зробити висновок, що підбір комбінації параметрів  $e_t$  і  $m$  зводиться до визначення кількості кроків, що використовуються для оцінки якості фільтрації кожного контуру.



**Рис. 5.** Залежності середньоквадратичних похибок фільтрації від зміни параметрів  $m$  і  $e_t$ :  
а – двоконтурного фільтра;  
б – триконтурного фільтра

**Рис. 6.** Залежності середньоквадратичних похибок прогнозу від зміни параметрів  $m$  і  $e_t$ :  
а – двоконтурного фільтра;  
б – триконтурного фільтра

### ВИСНОВКИ

У результаті дослідження було проведено порівняльний аналіз роботи двоконтурного адаптивного фільтра та триконтурного адаптивного фільтра. Дані алгоритми обробки інформації дозволяють визначати корисну складову і прогнозовані значення сигналу.

Їхня програмна реалізація дозволила провести дослідження впливу встановлених параметрів  $m$  і  $e_t$  на якість фільтрації та прогнозування. За результатами даних досліджень можна зробити наступні висновки:

- використання запропонованих алгоритмів є актуальним в умовах невизначеності або нестачі апріорної інформації про природу досліджуваного об'єкту або процесу і, відповідно, сигналу, який є відображенням протікання того чи іншого процесу;

- підбір параметрів  $m$  і  $e_t$  є вирішальним фактором для якісної обробки даних за допомогою даних алгоритмів;

- підбір параметра  $e_t$  залежить від часу дискретизації наступним чином: зі збільшенням часу дискретизації значення параметру  $e_t$  зменшується і навпаки;

- при збільшенні кількості кроків, на які здійснюються визначення прогнозованих значень сигналу, похибка прогнозування зростає у відповідності до наведених характеристик;

- використання триконтурного фільтра-предиктора потребує більшої кількості ресурсів ЕОМ, що призводить до збільшення часу на обробку даних, але дозволяє більш точно оцінити якість роботи кожного контуру фільтрації;

- триконтурний фільтр дозволяє уникнути перехідних процесів під час адаптації коефіцієнта згладжування, але у його роботі має місце перемикання між контурами, що призводить до стрибкоподібних змін значень відфільтрованого сигналу у момент оцінки якості фільтрації кожного із контурів;



- дана програмна реалізація показує, що обробка інформації двоконтурним фільтром-предиктором займає приблизно втричі менше часу, аніж із використанням фільтра із трьома контурами;

- час на обробку даних може змінюватись в залежності від оптимальності програмної реалізації даних алгоритмів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Боряк Б.Р. Аналіз ефективності застосування адаптивного двоконтурного фільтра-екстраполятора в залежності від форми сигналу / Б.Р. Боряк, А.М. Сільвестров // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Т. 6 (46). – С. 255-259.
2. Боряк Б.Р. Триконтурний адаптивний експоненціальний фільтр-екстраполятор / Б.Р. Боряк, А.М. Сільвестров // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Т. 5 (45). – С. 6-8.
3. Boriak B. R. Method of brown's exponential filter adaptation by using the method of least squares / B. R. Boriak, A. M. Silvestrov, V. V. Lutsio // Electronics and Control Systems. – 2017. – №54. – С. 27–32.
4. Boriak B. R. Relationships between filter-extrapolator parameters and quality of filtration and forecast / B. R. Boriak. // Control, Navigation and Communication Systems. Academic Journal. – Poltava: PNTU, 2018. – VOL. 4 (50). – PP. 27–32.

**Рецензент:** д-р техн. наук, д-р техн. наук, доц. О.В. Шефер,  
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.  
Received (Надійшла) 20.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 09.01.2019

### Сравнительный анализ качества фильтрации и прогнозирование двухконтурного и трехконтурного адаптивных экспоненциальных фильтров

Б. Р. Боряк

**Введение.** В статье проведен сравнительный анализ качества фильтрации и прогнозирования адаптивных экспоненциальных двухконтурного и трехконтурного фильтров. Главное отличие между двух- и трехконтурными фильтрами заключается в количестве контуров фильтрации, которые используются для оценки качества фильтрации, а также их программная реализации. **Цели.** Рассмотреть целесообразность использования трехконтурного фильтра-предиктора в системах управления, как алгоритм обработки информации, по сравнению с двухконтурным. **Методология.** Применено концепции анализа временных рядов и математическое моделирование в пакете Matlab. **Результаты.** Получено характеристики среднеквадратических погрешностей фильтрации и прогноза в зависимости от количества шагов, на которые осуществляется прогнозирование, и количества шагов, используемых для оценки качества фильтрации, для двух вариаций фильтров. **Оригинальность.** Впервые определено связь между среднеквадратичными погрешностями (фильтрации и прогноза) и следующими параметрами: количество шагов, на которые осуществляется прогнозирование; количество шагов, которые алгоритм обработки данных использует для оценки качества процесса фильтрации, для двух- и трехконтурного алгоритмов фильтрации и прогнозирования. Проанализировано актуальность применения двух различных алгоритмов адаптации коэффициента сглаживания в зависимости от ресурсов ЭВМ. **Практическое значение.** Осуществлено реализацию предложенных алгоритмов на языке программирования Matlab, которые могут быть интегрированы в различные автоматизированные системы управления с целью фильтрации и прогнозирования значений искаженного шумами сигнала. Это исследование дает возможность выбрать эффективный алгоритм обработки данных в зависимости от поставленной задачи.

**Ключевые слова** алгоритм обработки данных, экспоненциальное сглаживание, шум, прогноз, полезный сигнал, адаптация, коэффициент сглаживания.

### Filtration and prediction quality comparative analysis of two- and three-loop adaptive exponential filters

B. Boriak

**Introduction.** The article provides a comparative analysis of filtration and prediction quality of the adaptive exponential two-loop and three-loop filters. The main difference between two- and three-loop filters is the number of filtering loops that are used to evaluate the quality of the filtration process, as well as their software implementation. **Aims.** To consider the feasibility of using a three-loop filter-predictor in control systems, as a data processing algorithm, in comparison with two-loop filter. **Methodology.** I applied the concepts of time series analysis and mathematical modeling in the Matlab. **Results.** I obtained the characteristics of filtration and prediction standard errors depending on the number of steps which the forecast is made for and the quantity of steps which the data processing algorithm uses for quality estimation of filtering process for two filters variations. **Originality.** For the first time I have defined the relationships between rms-errors (filtration and forecast) and the following parameters: the number of steps which the forecast is made for, the quantity of steps which the data processing algorithm uses for quality estimation of filtering process for two- and three-loop filtering and prediction algorithms. I analyzed the relevance of applying two different smoothing coefficient adaptation algorithms depending on computer resources. **Practical value.** I have programed the proposed algorithms using Matlab programming language. This software can be integrated into various automated control systems in order to filter and predict the values of the signal distorted by noise. This research provides an opportunity to choose an efficient data processing algorithm, depending on the task.

**Keywords:** data processing algorithm, exponential smoothing, noise, forecast, original signal, adaptation, smoothing factor.

Н. В. Єрмілова, С. Г. Кислиця, Р. М. Тарасюк

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

## РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОБЛАДНАННЯМ ОВОЧЕСХОВИЩА НА БАЗІ НЕЧІТКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

У статті розглядаються недоліки існуючих систем автоматичного керування (САК) роботою холодильного обладнання овочесховищ та способи усунення цих недоліків. Запропоновано відмежуватися від традиційних методів керування та перейти до використання інтелектуальних методів, які дозволять системі гнучко адаптуватися при зміні внутрішніх параметрів об'єкту та збурювальних дій в широкому діапазоні змінення їх величин. Розроблено математичні моделі окремих елементів системи – повітроохолоджувача, зволожувача повітря та холодильної камери, на базі яких створено узагальнену модель САК холодильного зберігання, котра дозволила визначити температуру та вологовміст повітря в динаміці. Проведеними теоретичними дослідженнями взаємодії охолоджувального повітря з об'єктом зберігання встановлено визначальний вплив температури на динаміку втрат продукту та визначено основний параметр регулювання – зміна холодопродуктивності компресорної установки в функції температури повітря на виході камери шляхом зміни об'ємних витрат холодоагенту, яка здійснюється регулюванням частоти обертання вала компресора. Проведений синтез нейроінформаційної експертної системи автоматичного керування холодопродуктивністю компресора, проаналізовані графічні залежності потужності на валу компресора від вхідних параметрів. Виявилося, що мінімальна потужність компресора досягається зменшенням теплонаходжень в камеру як із зовні, так і з середини холодильної камери, а масові витрати повітря впливають тільки на швидкість охолодження. Зроблено висновок, що визначення потужності компресора за допомогою нечітких нейронних мереж відповідає поставленій задачі. Запропоновано схему для апаратної та програмної реалізації САК технологічним мікрокліматом в холодильній камері з використанням системи СКАДА.

**Ключові слова:** система керування, овочесховище, холодильна камера, математична модель, повітроохолоджувач, зволожувач повітря, нейронна мережа, стабілізація температури.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Зберігання плодово-овочевої продукції у місцях її безпосереднього виробництва дозволяє значно знизити втрати продукції після збирання. Незважаючи на прогрес у автоматизації холодильного обладнання овочесховищ, потенційні можливості її вдосконалення ще не вичерпано. Забезпечення сталості параметрів температури і вологості повітря в камерах сховища може бути ефективним тільки при використанні систем автоматичного керування роботою холодильного обладнання на базі агрегатів з регульованою холодопродуктивністю. Необхідність зміни продуктивності холодильного обладнання обумовлена тим, що холодильні агрегати, розраховані на максимальне теплове навантаження, при сезонних коливаннях температури майже не функціонують при повному навантаженні. Малі ж навантаження забезпечують застосуванням повторно-короткочасного режиму роботи компресорної установки, що призводить до перевитрат електроенергії.

При використанні сучасних підходів для максимального наближення створення оптимальної системи керування при отриманні рішення по формуванню діючого значення зміни потужності за критерієм стабілізації температури в камері доцільно відмежуватися від традиційних методів керування та перейти до використання інтелектуальних методів, які дозволять гнучко адаптуватися при зміні внутрішніх параметрів об'єкту та збурень в широкому діапазоні змінення їх величин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При аналізі відомих літературних джерел по темі [1-6] можна зробити висновок, що існуючі системи автомати-

чного регулювання температури повітря і сама система вентиляції не можуть забезпечити локальне регулювання температури в сховищах, т. я. температурний датчик зазвичай встановлюється в одному місці об'єму камери, а інші зони не контролюються. Вмикання вентиляторів відбувається автоматично для всього сховища, і температура повітря регулюється практично в одній точці, що зумовлює значну нерівномірність температурного поля насипу, і можливість ліквідації джерел самозігрівання повністю виключається.

Розробці варіантів схем компоновки повітряних систем охолодження присвячено багато робіт. Найбільш розповсюджені схеми проаналізовано в узагальнюючих роботах В. З. Жадана, П. Г. Красномоця, П. І. Дячека, Б. І. Котова, В. О. Грищенко, І. Г. Чукача та інших. Аналізом існуючих систем повітряного охолодження встановлено, що рівномірне охолодження елементів рослинної продукції та пов'язана з цим рівномірність температурно-вологісних полів в штабелях може бути тільки за умов активного вентиляції продукції. Необхідно передбачити періодичну роботу обладнання у фазі збереження, але при цьому обов'язковою умовою є автоматизація керування роботою обладнання. Таким чином, для реалізації енерго- і технологічно ефективних режимів роботи перспективних систем повітряного охолодження плодовоовочевого сховища необхідне вдосконалення систем керування температурно-вологісними режимами охолодження і зберігання плодовоовочевої продукції.

### Основна частина

Технічні та експлуатаційні характеристики сучасних овочесховищ і камер дозрівання України дозволяють зменшити втрати під час зберігання в них овочів і фруктів. Автоматизація мікроклімату в ово-

чесовищах здійснюється з урахуванням агротехнічних вимог на зберігання окремих видів сільськогосподарської продукції. Основним діючим фактором є активна вентиляція, яка забезпечує видалення надмірної вологи з поверхні коренеплодів і овочів, а також сприяє вирівнюванню волого-температурних полів в об'ємі продукції, що зберігається. Підвищення енергетичної і технологічної ефективності системи створення технологічного мікроклімату в холодильних камерах відбувається шляхом реалізації енергоощадних режимів і автоматизації керування ними.

Для синтезу системи автоматичного керування (САК) температурно-вологісними режимами необхідно мати математичний опис динамічних процесів в окремих елементах обладнання, приміщення та продукції, яка охолоджується або зберігається (з урахуванням її розігріву під час відтаювання повітроохолоджувачів). Математичні моделі повинні якомога точніше відображати фізичну сутність процесів (це, в основному, процеси тепло- і масообміну), що протікають в елементах обладнання, штабелях з продукцією, в робочому приміщенні, і враховувати основні зв'язки між параметрами та збурювальними діями (як зовнішніми, так і внутрішніми), які призводять до змін температурно-вологісного режиму та, відповідно, втрат продукції [3].

Проведеними теоретичними дослідженнями взаємодії охолоджувального повітря з об'єктом зберігання встановлено визначальний вплив температури на динаміку втрат продукту та визначено основний параметр регулювання – зміна холодопродуктивності компресорної установки в функції температури повітря на виході камери (датчик температури ТЕ на виході повітроохолоджувача ПО), шляхом зміни об'ємних витрат холодоагенту (регулювання частоти обертання вала компресора К). Функціональна схема САК приведена на рис. 1.

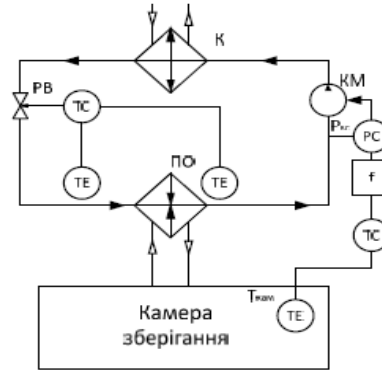


Рис. 1. Функціональна схема САК режимами холодильного зберігання плодоовочевої продукції

Запропонована САК режимом холодильного зберігання реалізує енергоефективний принцип керування, сутність якого полягає в тому, що холодозабезпечення камери відбувається в залежності від змінних в часі потреб в холоді. Тобто при збільшенні тепловитрат (наприклад добових), відповідно повинна збільшуватись і кількість холоду, який виробляється. Стабілізація (автоматичне регулювання) температури повітря на вході в камеру здійснюється шляхом регулювання заповнення об'єму випарника за допомогою терморегулюючого клапану РВ (по сигналу датчика температури повітря ТЕ на виході повітроохолоджувача). Було розроблено математичні моделі окремих елементів системи – повітроохолоджувача, зволожувача повітря та холодильної камери, на базі яких створено узагальнену модель системи автоматичного керування режимами холодильного зберігання, котра дозволила визначити температуру та вологовміст повітря в динаміці (рис. 2). Запропонована математична модель адекватна реальному процесу, і з відхиленням, що не перевищує 4 %, описує досліджуваний процес.

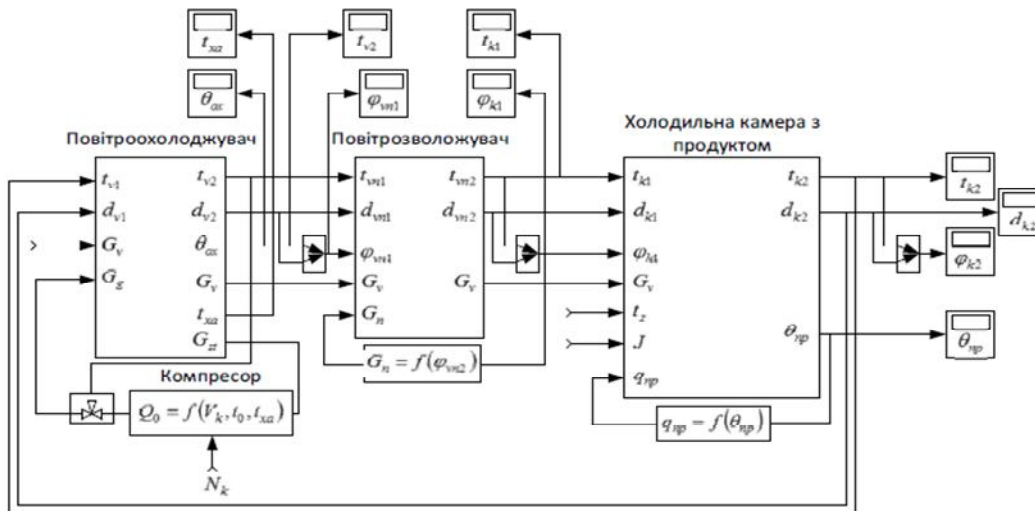


Рис. 2. Схема математичної моделі моделювання динамічних режимів холодильної установки у пакеті MATLAB/Simulink

Дослідження показали, що система з П-регулятором дає достатньо велику середньоквадратичну похибку регулювання. Враховуючи наявність коливань керованих параметрів при введенні інтегровальної складової в П-закон керування, а також погір-

шення динамічних властивостей із-за можливої втрати стійкості, застосування ПІ-регулятора небажане. В разі застосування ПД-регулятора введення похідної в П-закон керування неістотно покращує якісні показники, але значно ускладнює схему регулювання. Зна-

чна зміна параметрів атмосферного повітря в сезонні періоди "осінь-зима-весна" зумовлює суттєву нестаціонарність і нелінійність ряду характеристик технологічного обладнання плодоовочесховищ, внаслідок чого задача вибору закону регулювання та параметрів регуляторів суттєво ускладнюється. Конструктивні та теплофізичні параметри камер холодильного зберігання рослинної продукції постійно піддані збуренням (змінюється маса й об'єм продукції в період завантаження, площа теплообмінної поверхні та інші показники), що приводить до невизначеності. Цілком природно, що і найбільш ефективний ПІ-закон регулювання не може компенсувати збурення в умовах невизначеності. Відомо, що застосування системи керування температурним режимом приміщення з нечітким регулятором в умовах нестаціонарних збурень дозволяє стабілізувати температурний режим, в той час, як система з ПІ-регулятором має автоколивальний перехідний процес [4]. Система вимірює температуру повітря в приміщенні і автоматично вибирає режим роботи та потрібну холодопродуктивність компресора, причому задана температура повітря постійно коригується, виходячи з поточних значень температури та вологості повітря в приміщенні. Порівняно з ПІД-регулюванням коливання температури повітря значно зменшуються. Застосування нечітких логічних регуляторів при керуванні системою створення мікроклімату забезпечує: відсутність різких перепадів температури в приміщенні, підтримання допустимої швидкості потоку повітря, встановлення необхідної холодопродуктивності, вибір режиму роботи за параметрами температури і вологості в сховищі, мінімальний час виходу на заданий режим, зменшення витрат енергії на 20–30 %.

Проведений синтез нейроінформаційної експертної системи автоматичного керування холодопродуктивністю компресора (рис. 3). Алгоритм синтезу системи автоматичного керування холодопродуктивністю компресора у FIS-редакторі MATLAB був таким:

- вхідна температура повітря в камеру, вхідна вологість повітря, витрати повітря були заданими;
- отриманий набір даних увійшов в одну із вибірок (навчальну, тестову або контрольну) при створенні системи автоматичного керування холодопродуктивністю компресора (потужністю  $N_k$ ).

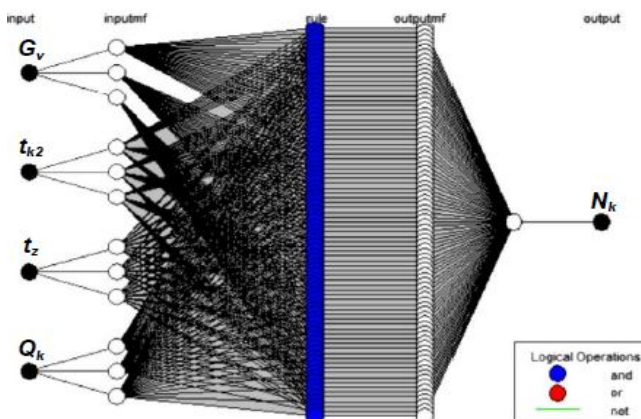


Рис. 3. Вікно середовища MATLAB/ANFIS структури нейромережевої моделі енергоефективного керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищах

При синтезі системи автоматичного керування холодопродуктивністю компресора вхідними величинами прийняті:

1. Витрати повітря  $G_v$ , кг/с;
2. Температура на виході камери  $t_{k2}$ , °C;
3. Зовнішня температура  $t_z$ , °C;
4. Теплове навантаження в камеру  $Q_k$ , Вт.

Вихідною величиною є потужність компресора  $N_k$ .

Отримавши налаштовану нейронну мережу, були проаналізовані графічні залежності потужності на валу компресора (холодопродуктивності) від вхідних параметрів (рис. 4–6).

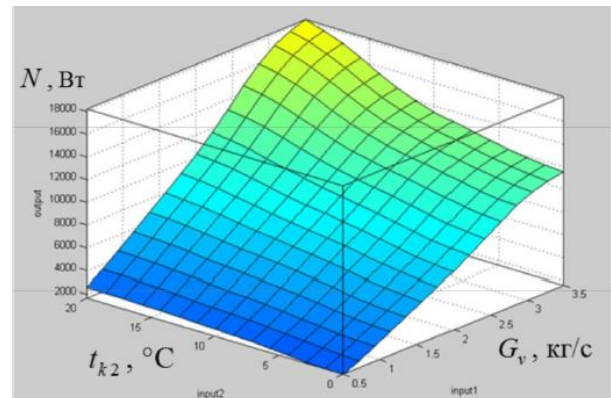


Рис. 4. Графік залежності потужності компресора від масових витрат повітря та температури на виході камери

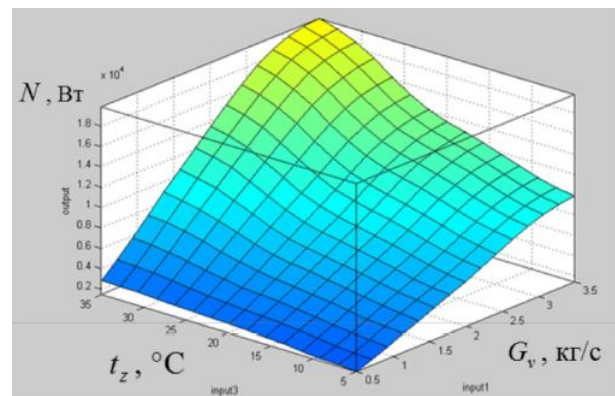


Рис. 5. Графік залежності потужності компресора від масових витрат повітря та температури навколишнього середовища

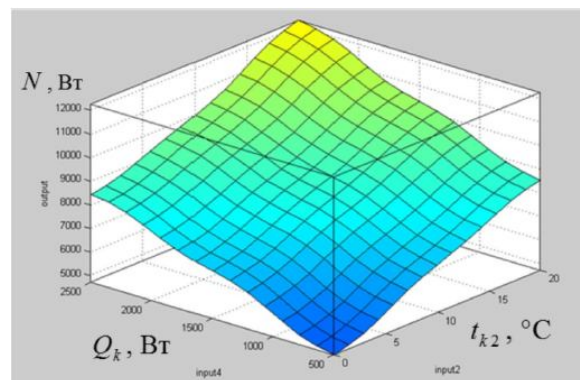


Рис. 6. Графік залежності потужності компресора від температури на виході камери та теплонадходжень

Виявилося, що якісно та кількісно ці залежності відповідають попереднім статистичним дослід-

дженням. Мінімальна потужність компресора досягається зменшенням теплонадходжень в камеру, як із зовні ( $t_2$ ), так і з середини ( $Q_k$ ) холодильної камери, а масові витрати повітря ( $G_v$ ) впливають тільки на швидкість охолодження (при рівних теплонадходженнях).

Зроблено висновок, що визначення потужності компресора за допомогою нечітких нейронних мереж відповідає поставленій задачі.

Для апаратної та програмної реалізації енергоефективного керування температурно-вологісними режимами при холодильному зберіганні рослинної продукції за основу автоматизованої системи взято принципову схему керування холодильною машиною типу MBV20x2-2-2 з компресором 5PB20-2-024 потужністю 8.8 кВт (рис. 7).

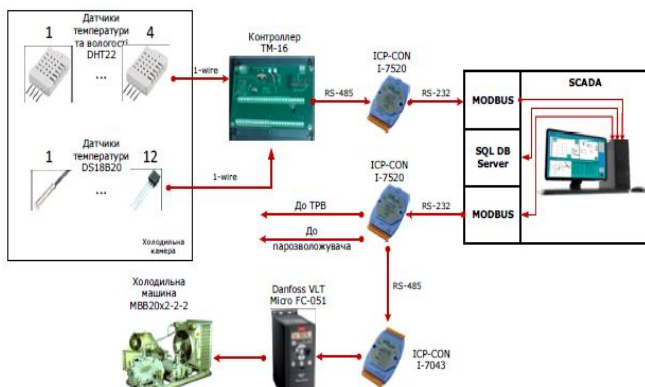


Рис. 7. Схема реалізації САК технологічним мікрокліматом в холодильній камері з використанням СКАДА

У схемі енергоефективного керування запропоновано використати два сприймаючих елементи: температури та відносної вологості повітря.

Зважаючи на технологічні аспекти – діапазони робочих температур та вологості, обрано такі сучасні датчики:

- датчик температури повітря DS18B20 в капсульному виконанні;
- датчик вологості DHT-22.

В якості вимірювального комплексу запропоновано використати мікропроцесорний блок TM-16 на базі мікропроцесора Атмел. Для керування частотою компресора холодильної машини пропонується використати частотний перетворювач типу Danfoss VLT Micro FC-051.

В якості системи автоматичного керування запропоновано використати SCADA (supervisory control and data acquisition) системи TRACE MODE, яка дозволяє реалізувати отримання інформації з датчиків температури та вологості повітря та програмно реалізувати за заданим алгоритмом нечітке керування частотою електродвигуна компресора [7]. SCADA забезпечує операторський контроль виробничих процесів в реальному часі.

Пакет програм може бути встановлений на промисловий комп'ютер. Зв'язок з об'єктом здійснюється за допомогою драйверів введення-виведення інформації або спеціальних серверів. Пакет програм TRACE MODE 6 поєднує в собі повний набір засо-

бів розробки АСУТП і керування бізнес-процесами виробництва: операторського інтерфейсу; розподілених систем керування; промислової бази даних реального часу; програм для промислових контролерів; систем керування виробництвом. TRACE MODE 6 дозволяє поступово нарощувати функціональність автоматизованої системи керування, починаючи із простого моніторингу й візуалізації технологічного процесу на одному ПК SCADA/HMI і закінчуючи реалізацією складних контурів керування, організацією розподілених обчислень, підключенням додаткових робочих місць і економічних модулів: облік і технічне обслуговування устаткування, облік і керування персоналом і керування виконанням виробництва.

Розроблена система енергоефективного керування температурно-вологісними режимами при холодильному зберіганні рослинної продукції підтримує технологічні параметри вологості і температури повітря змінням холодопродуктивності компресора холодильної машини та кількості водяної пари, яка надходить від зволожувача. Рациональні технологічні параметри обраховуються за математичною моделлю і потім вводяться в частотний перетворювач у вигляді керувальних дій за допомогою персонального комп'ютера через COM порт по протоколу MODBUS RTU.

Частотний перетворювач змінює швидкість обертання двигуна компресора і, відповідно, змінює об'ємну витрату холодоагенту.

## Висновки

1. В роботі вирішено завдання підвищення енергетичної ефективності системи забезпечення температурно-вологісного режиму в сховищі для зберігання рослинної продукції з машинним охолодженням шляхом автоматизації керування основними елементами обладнання. При цьому встановлено, що основною умовою енергоефективного керування є забезпечення відповідності холодопродуктивності установки тепловому навантаженню камери.

2. Проведеними дослідженнями визначено основний параметр регулювання – зміна холодопродуктивності компресорної установки шляхом регулювання частоти обертання вала компресора.

3. Розроблені математичні моделі для розрахунку параметрів процесу відрізняються врахуванням зв'язків між параметрами об'єкту зберігання і холодопостачання і дозволяють на базі нечітких нейронних мереж отримати лінгвістичну базу правил для нечіткої логіки.

4. Розроблено алгоритми використання нечітких нейронних мереж для визначення енергоефективних режимів функціонування холодильного обладнання плодоовочесховища, на базі яких запропоновано комплекс технічних засобів та розроблено програмне забезпечення для реалізації САК. За даними техніко-економічних розрахунків практична реалізація вдосконаленої САК зберігання плодоовочевої продукції дає змогу зменшити втрати продукції на 3 – 4 % при зменшенні затрат енергії на 20 %.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горг Мурад. Моделирование и оптимальное управление процессами холодильного хранения растительного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.04.03 "Холодильная и криогенная техника, системы кондиционирования" / Горг Мурад. – Одесса, 1992. – 18 с.
2. Жадан В. З. Влагообмен в плодоовощехранилищах / В. З. Жадан. – М.: Агропромиздат, 1985. – 197 с.
3. Грищенко В.О. Автоматизація процесу керування холодильним обладнанням в плодоовочесховищах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.13.07 "Автоматизація процесів керування" / В.О. Грищенко. – Кіровоград, 2016. – 20 с.
4. Дячек П. И. Научно-технические основы управления температурно-влажностным режимом хранения картофеля и овощей: автореф. дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук / П. И. Дячек. – Минск, 1997. – 35 с.
5. Котов Б.І. Енергозберігаючий алгоритм управління технологічним мікрокліматом / Б.І.Котов, В.О. Грищенко // Науковий вісник Нац. університету біоресурсів і природокористування України. – 2011. – Вип.166. – Ч.4. – С. 147-156.
6. Котов Б. И. Разработка системы автоматического управления системой создания микроклимата в камере плодоовощехранилища / Б. И. Котов, В. А. Грищенко // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: 9 международная научно-техническая конференция, 21–22 мая 2014 г. – М., 2014. – Ч. 5. – С. 219–223.
7. Грищенко В. О. Реалізація автоматизованої системи керування динамічними режимами камер холодильного зберігання плодоовочевої продукції / В. О. Грищенко // Науковий вісник Ніжинського агротехнічного університету. – Ніжин, 2009. – С. 196–199.

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

Received (Надійшла) 15.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

### Разработка автоматизированной системы управления оборудованием овощехранилища на базе нечетких нейронных сетей

Н. В. Ермилова, С. Г. Кислица, Р. М. Тарасюк

В статье рассматриваются недостатки существующих систем автоматического управления (САУ) работой холодильного оборудования овощехранилищ и способы устранения этих недостатков. Предложено отказаться от традиционных методов управления и перейти к использованию интеллектуальных методов, которые позволят системе гибко адаптироваться при изменении внутренних параметров объекта и возмущающих воздействий в широком диапазоне изменения их величин. Разработаны математические модели отдельных элементов системы – воздухоохладителя, увлажнителя воздуха и холодильной камеры, на базе которых создана обобщенная модель САУ режимами холодильного хранения, которая позволяет определять температуру и влажность воздуха в динамике. Проведенными теоретическими исследованиями взаимодействия охлаждающего воздуха с объектом хранения установлено изначальное влияние температуры на динамику потерь продукции, определен основной параметр регулирования – изменение холодопроизводительности компрессорной установки в функции температуры воздуха на выходе камеры путем изменения объемного расхода холодоагента, которое осуществляется регулированием частоты вращения вала компрессора. Осуществлен синтез нейроинформационной экспертной САУ холодопроизводительностью компрессора, проанализированы графические зависимости мощности на валу компрессора от входных параметров. Выявлено, что минимальная мощность компрессора достигается уменьшением теплопоступлений в камеру как снаружи, так и с середины холодильной камеры, а массовый расход воздуха влияет только на скорость охлаждения. Сделан вывод, что определение мощности компрессора с помощью нечетких нейронных сетей соответствует поставленной задаче. Предложена схема для аппаратной и программной реализации САК технологическим микроклиматом в холодильной камере с использованием системы СКАДА.

**Ключевые слова:** система управления, овощехранилище, холодильная камера, математическая модель, воздухоохладитель, увлажнитель воздуха, нейронная сеть, стабилизация температуры.

### Development of automated control system for equipment of a vegetable storage facility based on neuro-fuzzy systems

N. Yermilova, S. Kyslytsia, R. Tarasiuk

The article deals with the disadvantages of existing systems of automatic control (SAC) which operate the refrigeration equipment of vegetable storages and ways to eliminate these shortcomings. It is proposed to distance from traditional methods of management and switch to the use of intelligent methods that will allow the system to adapt flexibly when the internal parameters of the object change and there are disturbing actions in a wide range of changes in their values. The mathematical models of some individual elements of the system - air cooler, air humidifier and a refrigerating chamber - are developed, and on their basis a generalized model of the SAC for refrigeration modes in a storage is created. This allowed to determine the temperature and moisture content of air in the dynamics. Conducted theoretical studies of the interaction of cooling air with the object of storage showed the determinant influence of temperature on the dynamics of product losses, and the basic parameter of regulation is found – a change in the refrigeration performance of the compressor installation in the function of air temperature at the exit of the chamber by changing the volumetric flow rate of a refrigerating agent; which, in its turn, is implemented by adjusting the rotational speed of the compressor shaft. The synthesis of the expert neuroinformation SAC for the compressor cold efficiency is carried out, graphic power dependencies of the compressor shaft power from the input parameters are analyzed. It turned out that the minimum compressor power is achieved by reducing the heat input to the camera, both from the outside and from the inside of the refrigerating chamber, meanwhile the massive air flow only affects the cooling rate. It is concluded that determination of the compressor power with the help of neuro-fuzzy networks corresponds to the task. The scheme for hardware and software implementation of SAC for technological microclimate in a refrigerating chamber using the SCADA system is proposed.

**Keywords:** control system, vegetable storage, refrigerating chamber, mathematical model, air cooler, air humidifier, neural network, temperature stabilization.

М. Й. Заполовський, М. В. Мезенцев, В. В. Скородєлов

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

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДА ТА УТОЧНЕННЯ ЇЇ СТРУКТУРИ

Розглянуті питання розробки та дослідження моделей систем керування електропередачею дизель-поїзда з електроприводом змінного струму. Проведено огляд літературних джерел на задану тематику та аналіз існуючих підходів до розв'язання найпоширеніших задач у даній галузі. Розглянуті як стандартні алгоритми керування окремих контурів системи керування так і варіанти з використанням корегуючих ланок. Побудовані математичні моделі, структурні схеми моделей контурів САР електропередачі дизель-поїзда, запропоновані структури та корегуючі ланки для окремих контурів керування, проведене моделювання їхнього функціонування. Запропоновані рекомендації, які можуть бути використані для розробки структури САР електропередачі дизель-поїзда і знаходження її параметрів при забезпеченні певного критерію якості. Визначені параметри системи автоматичного керування канала формування струму тягового електродвигуна, які забезпечують задану якість керування (час перехідного процесу, величину перерегулювання, число перерегулювання, швидкодію), допустимих меж зміни параметрів САР. Запропоновані структури регуляторів задовольняють вимогам щодо працездатності в робочому проміжку швидкостей та можливих навантажень.

**Ключові слова:** моделі системи керування, електропередача, дизель-поїзд, електропривод змінного струму, алгоритми керування, корегуючі ланки, критерії якості.

### Вступ

Визначальне місце в електропередачі тягових одиниць рухомого складу, в тому числі дизель-поїзда, займає електропривод змінного струму. Задані характеристики електроприводу підтримуються системою керування. Для покращення її ефективності, можуть корегуватись шляхом вдосконалення алгоритмів керування. В загальному плані завдання розробки системи керування електропередачі та її дослідження є складовою частиною загальної задачі створення оптимальної системи управління транспортним засобом (дизель-поїздом). Останніми роками вирішення цих завдань пропонується виконувати з використанням сучасних технологій, в основі яких лежать методи аналізу і синтезу складних технічних систем [1–4].

**Постановка задачі і аналіз відомих публікацій.** Огляд робіт, присвячених задачі розробки ефективних систем управління електропередачею дизель-поїзда з електроприводом змінного струму показує, що в даний час значна увага приділяється створенню систем управління на основі сучасних досягнень проектування з використанням методів оптимізації, нечіткої логіки, нейрокомп'ютерних технологій, орієнтованих на побудову не аналогових, а цифрових систем управління (ЦСУ), які забезпечують функціонування як його самого, так і підсистем окремо, зокрема електроприводу змінного струму. Ця тенденція має місце не тільки в Україні, але і країнах ближнього і далекого зарубіжжя [1–7]. Невід'ємною задачею при цьому є питання розробки моделей систем та їх дослідження. Як правило моделі систем носять нелінійний характер. Врахування нелінійностей в моделях з однієї сторони дає можливість оцінити їх вплив на якісні показники системи, а з іншої – шляхом введення додаткових нелінійних елементів підвищити якість процесів керування або отримати принципово нові алгоритми в керуванні. При цьому є можливість підвищити

швидкодію, зменшити величину перерегулювання або компенсувати дії небажаних присутніх нелінійностей [8, 9]. Математичний апарат аналізу нелінійних систем зв'язаний з необхідністю дослідження нелінійних диференціальних рівнянь, теорія яких має множини індивідуальних методів. В даний час рішення нелінійних диференціальних рівнянь виконується шляхом моделювання за допомогою математичних пакетів, наприклад MatLab [10, 11]. До того ж математичні моделі у вигляді системи диференціальних рівнянь можуть бути використані при розробці ЦСУ. Вони дозволяють реалізувати більш складні принципи керування згідно запропонованих алгоритмів: векторне керування, керування за нейромережевими технологіями, реалізацію оптимальних законів управління та інше [3, 4, 12–14].

Структура ЦСУ загалом аналогічна структурам аналогових систем керування, тому розробку і дослідження регуляторів ЦСУ простіше проводити за методикою для аналогових систем, а результати використовувати для розробки алгоритмів управління, орієнтованих на реалізацію за допомогою засобів цифрової техніки.

Метод оцінки властивостей ЦСУ можливо проводити на основі загальної передавальної функції як аналогової системи. Розглянутий підхід використано при розробці системи управління електропередачі дизель-поїзда з електроприводом змінного струму. При цьому за допомогою моделювання з використанням пакету MatLab уточнені структура (шляхом введення корегуючих ланок) і визначені параметри регуляторів контурів системи управління відповідно до якісних показників щодо забезпечення умов функціонування досліджуваного об'єкта в цілому, що дає змогу в подальшому за допомогою з-перетворення на основі запропонованої моделі у вигляді передавальних функцій отримати рекурентні співвідношення для контурів системи управління [8, 15].

**Метою даної роботи** є розробка математичних моделей та дослідження системи керування електро-

передачі дизель-поїзда з електроприводом змінного струму, уточнення структурних схем регуляторів та визначення параметрів системи автоматичного керування вихідної напруги інверторів (каналу формування струму) асинхронного електродвигуна, які забезпечують задану якість керування (величину перерегулювання, час регулювання, число регулювання, швидкодію) і допустимі межі зміни параметрів САР, проведення комплексних досліджень та отримання якісних характеристик роботи систем керування в процесі моделювання з використанням MatLab.

### Основна частина

Однією з важливих задач, які зв'язані з розробкою систем керування об'єктами, є розробка математичної моделі досліджуваної системи для визначення її динамічних і статичних характеристик у різних режимах роботи та на цій основі запропонувати корегуючі ланки, якщо це необхідно, та значення параметрів регуляторів системи керування для забезпечення надійного функціонування об'єкта в цілому. Дану інформацію можливо отримати за допомогою експериментальних досліджень, або шляхом математичного моделювання.

У даний час моделювання - найбільш ефективний метод дослідження систем на етапі їхнього проектування. Модель електропередачі системи керування по каналу формування струму тягових електродвигунів можливо описати за допомогою передавальних функцій.

Канал завдання:

$$U_{z1}(p) = U_{km} W_1(p), U_z = \min(U_{z1}, U_{km}), \quad (1)$$

де  $U_{z1}$  - значення сигналу завдання в певний момент часу;  $U_{km}$  - сигнал управління, пропорційний номеру позиції контролера машиніста;  $W_1(p) = K_1/p$ ;  $K_1$  - коефіцієнт передачі, який задає темп наростання сигналу управління (підлягає визначенню);  $p$  - оператор Лапласа.

Регулятор каналу формування струму:

$$V_p(p) = U_n K_2 (W_2(p) + K_3), \quad (2)$$

де  $V_p(p)$  - сигнал управління на виході регулятора;  $U_n(p) = U_{z1}(p) - U_{z3}(p)$ ;  $U_{z3}(p)$  - сигнал управління зворотного зв'язку;  $K_2, K_3, K_4$  - коефіцієнти передачі (підлягають визначенню);  $W_2(p) = K_4/p$ .

Блок фільтрації регулятора каналу формування струму:

$$V_\phi(p) = V_p(p) W_3(p), \quad (3)$$

де  $V_\phi(p)$  - сигнал управління на виході регулятора каналу формування струму;  $W_3(p) = 1/(T_1 p + 1)$ ;  $T_1$  - постійна часу блоку фільтрації.

Задавальник інтенсивності:

$$V_{zi}(p) = V_\phi(p) W_4(p), \quad (4)$$

де  $V_{zi}(p)$  - сигнал управління на виході блоку задавальника інтенсивності;  $W_4(p) = K_5/p$ ;  $K_5$  - ко-

ефіцієнт передачі (може приймати відповідні значення в залежності від похідної вхідного сигналу) (підлягає визначенню).

Модель об'єкта управління:

$$Y_{oy}(p) = V_{zi}(p) W_5(p), \quad (5)$$

де  $Y_{oy}(p)$  - сигнал управління на виході блоку об'єкта управління (пропорційний фазному струму тягового двигуна дизель-поїзда);  $K_6$  - коефіцієнт передачі;  $W_5(p) = K_6/(T_2 p + 1)$ ;  $T_2$  - постійна часу.

Блок формування сигналу управління каналу зворотного зв'язку (блок моделі фільтрації та датчиків сигналів):

$$U_{z3}(p) = K_7 K_8 K_9 (W_6(p) W_7(p) W_8(p)), \quad (6)$$

де  $K_7, K_8, K_9$  - коефіцієнти передач відповідних блоків;  $W_6(p) = 1/(T_3 p + 1)$ ;  $W_7(p) = 1/(T_4 p + 1)$ ;  $W_8(p) = 1/(T_5 p + 1)$ ;  $T_3, T_4, T_5$  - постійні часу.

При розробці системи керування електропередачею дизель-поїзда практичний інтерес представляють якісні показники перехідного процесу контурів САР, такі як час регулювання, величина перерегулювання, число перерегулювання, швидкодія та значення допустимих меж зміни параметрів САР, що забезпечують надійну роботу системи.

Значення параметрів математичної моделі системи керування по каналу формування струму тягових електродвигунів (1 - 6) такі:

$$K_6=95; K_7=6.7; K_8=0.017; K_9=2; T_1=0.1;$$

$$T_2=1; T_3=0.016; T_4=0.007; T_5=0.016.$$

Величини  $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5$  - невідомі і підлягають визначенню в процесі досліджень.

Згідно технічних вимог до системи керування електропередачею в контурі формування струму електродвигуна критичним, тобто визначальним в функціонуванні системи в цілому, є струм, який протікає через статорну обмотку асинхронного електродвигуна і напівпровідникові елементи перетворювача частоти. У системі САР електропередачі передбачений захист по величині цього струму. Вона не повинна перевищувати 30% від величини струму, необхідної для реалізації максимальної сили тяги згідно технічних умов, тобто величина перерегулювання повинна бути менш 30%. При цьому кількість перерегулювань  $N$  повинно становити 3 - 4 ( $N = 3 - 4$ ) за час перехідного процесу, а швидкодія  $V$  - як можна більша.

У процесі досліджень використовувався метод багаторазового прогону моделі для певної структурної схеми моделі системи керування (зміна визначених параметрів) і отримання перехідних процесів з наступним їхнім аналізом. Дослідження, пов'язані з уточненням структури САР і визначенням параметрів, проводилися в кілька етапів.

На першому етапі проводилися дослідження САР з метою визначення параметрів регулятора каналу формування струму, згідно математичної моделі (1) - (6).



Базова структура моделі САР каналу формування струму приведена на рис. 1. Тут: блоки (1 - 5) – модель формування сигналу завдання по струму; блоки (6 - 10) - модель регулятора на основі пропорційно-інтегрального закону керування; блок (11) - фільтр; блоки (12, 13) - модель задатчика інтенсивності (без врахування постійних часу залежно від форми вхідного сигналу); блоки (14 - 16) - модель об'єкта керування (формування струму фази ТАД); блоки (17 - 20) - модель датчиків сигналів й фільтруючих ланок, використовані в колі зворотного зв'язку САР.

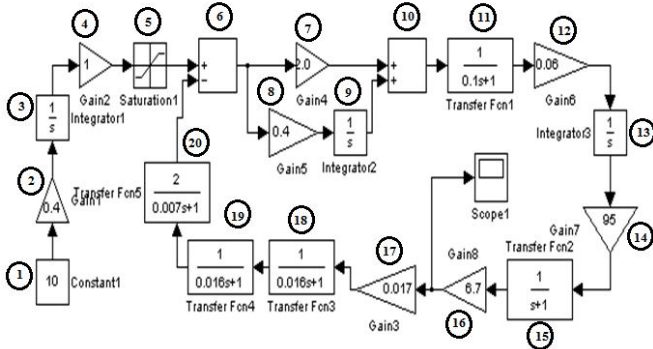


Рис. 1. Структура моделі САР каналу формування струму

На рис. 2 для одного із варіантів, приведені характерні перехідні процеси, що протікають в досліджуемій системі, при різних значеннях коефіцієнта  $K_3$  (блок пропорційно-інтегрального регулятора).

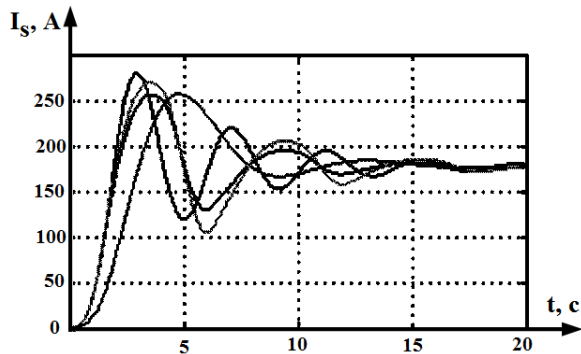


Рис. 2. Перехідні процеси струму при різних значеннях коефіцієнта  $K_3$

Для схеми, приведеної на рис. 1, в результаті досліджень визначені параметри (коефіцієнтів передачі та постійних часу), які задовольняють якісним показникам щодо вимог до функціонування системи регулювання.

При цьому швидкість  $V$  становить величину 61А/сек. Покращення якісного показника по швидкості пропонується шляхом удосконалення структурної схеми. Розглядається два підходи. Перший – це введення задавальника інтенсивності зі змінною структурою (рис. 3). В залежності від знаку похідної вхідного сигналу (зростання чи

убування) – різні постійні часу. Другий підхід – структура задавальника інтенсивності не змінюється, а вводиться в контур регулювання корегуюча ланка (рис. 4). Тут, на відміну від структури задатчика інтенсивності, у якого параметри на зростання і убування не змінювалися, й це приводило до нестійкої роботи при постійній часу, менший за 12,5 сек, то в цьому випадку така структура поліпшує систему САР як з погляду стійкості, так і з погляду якісних показників.

Навіть зменшення постійної часу до 10 сек не приводить до нестійкої роботи. Вдалося досягти збільшення швидкості до величини 83.3 А/с (збільшення на 36.6%). Введення задавальника інтенсивності зі змінною структурою дає позитивний ефект в змісті забезпечення стійкості системи при збільшенні швидкості (тобто робота задатчика інтенсивності зі значно меншими значеннями постійних часу). Так, при постійних часу на зростання ( $T_{зр}$ ) і убування ( $T_{уб}$ ) задавальника інтенсивності ( $T_{зр} = 12.6$  с,  $T_{уб} = 50$  с) істотного впливу на величину перерегулювання не роблять, однак зі зменшенням постійної часу  $T_{зр}$  збільшується швидкість системи, що не маловажно, однак збільшується коливальність (час перехідного процесу й число коливань).

Крім того при  $T_{зр} = 10$  с система практично на межі стійкості, при  $T_{зр} = 6.2$  с – не стійка. При цьому встановлено, що прийнятні значення постійних часу задавальника інтенсивності перемінної структури з погляду забезпечення якісних показників відповідають наступним величинам: при зростанні сигналу –  $T_{зр} = 8.5$  с, при убуванні –  $T_{уб} = 50$  с. Значення величини перерегулювання становить 29.78 %, час перехідного процесу – 20 с, число перерегулювання – 4.

Проведені експерименти з моделлю дозволяють установити для даної структури САР, обумовленою її моделлю (рис. 1), оптимальні значення параметрів з урахуванням близькості до необхідних показників якості перехідного процесу. Оптимальні значення цих параметрів такі:

$$K_1 = 2.5; K_2 = 1; K_3 = 0.2; K_4 = 0.02.$$

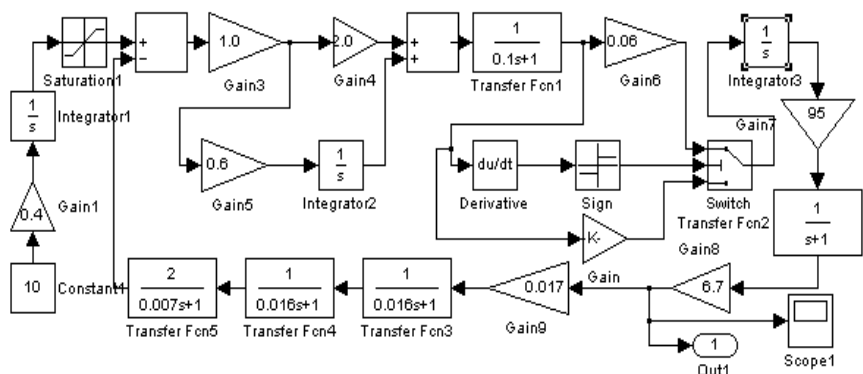


Рис. 3. Структура моделі САР каналу формування струму із задавальником інтенсивності зі змінною структурою

Другий підхід. Структура задавальника інтенсивності не змінюється, а вводиться в контур регулювання корегуюча ланка. Структурна схема моделі приведена на рис. 4.

Корегуюча ланка введена в контур пропорційно-інтегрального регулятора (в коло інтегральної складової) у вигляді передавальної функції та зони нечутливості з пороговими значеннями [0; 0.1] В. Передавальна функція  $W(p)$  задається у вигляді:

$$W(p) = \frac{(p + 0.1)(p - 0.93)}{p(p + 4)} \quad (7)$$

Параметри блоків моделі для контуру завдання, зворотнього зв'язку (датчиків сигналів та фільтрів) залишаються такими ж, як і в попередніх досліджуваних схемах. В результаті дослідження отримано: значення величини перерегулювання становить 29.78 %, час перехідного процесу - 20 с, число перерегулювання – 4 (такі ж, як і в попередній схемі). Швидкодія збільшилась до величини 95,2 А/с. Тобто збільшилась на 56.1% по відношенню до структури з незмінною структурою задатчика інтенсивності і на 14.3% відносно структури із задатчиком інтенсивності змінної структури.

На рис. 5 наведені перехідні процеси при введенні корегуючої ланки для різних значень коефіцієнтів задатчика інтенсивності незмінної структури.

В результаті дослідження моделі САР каналу формування струму шляхом уточнення структури запропонована система керування, яка забезпечує в процесі функціонування наступні показники: величина перерегулювання - не більше 30%; час перехідного процесу – не більше 14 с; число перерегулювання – 3; швидкодія – 95.2 А/с, що є цілком допустимим при технічній реалізації САР.

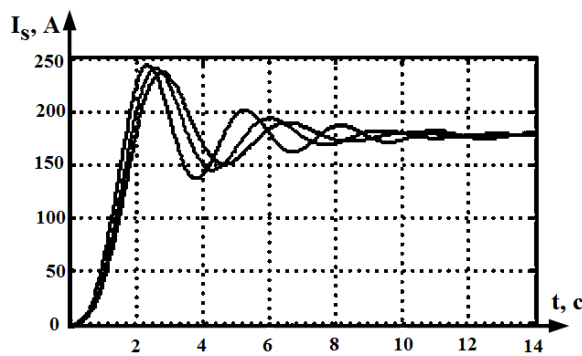


Рис. 5. Перехідні процеси струму при використанні корегуючої ланки

Це дає змогу застосовувати математичну модель САР каналу формування струму, яка описується рівняннями (1) – (7), для дослідження та розробки системи керування електропередачі дизель-поїзда з використанням певних критеріїв оптимальності. В результаті досліджень для пропонуємих структур-

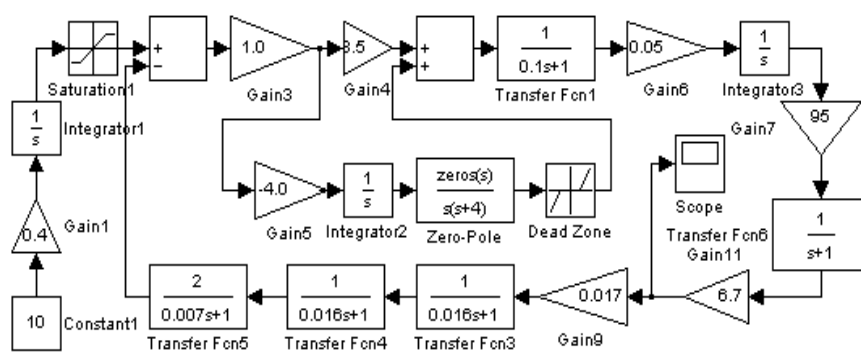


Рис. 4. Структура моделі САР каналу формування струму із корегуючою ланкою

них схем знайдено значення параметрів контурів регуляторів, що забезпечують необхідні якісні показники і надійне функціонування системи керування в цілому. До того ж математична модель, за допомогою якої проводились дослідження, може бути використана для побудови ЦСУ шляхом знаходження рекурентних співвідношень із застосуванням z-перетворення за умови їх реалізації з використанням мікропроцесорних пристроїв і силових елементів напівпровідникової техніки для перетворювачів частоти, що входять у структуру САР електропередачі дизель-поїзда.

### Висновки

1. На основі аналітичного огляду існуючих алгоритмів та систем автоматичного керування електропередачі дизель-поїзда з тяговим електроприводом змінного струму запропоновані структурні схеми регуляторів контурів САР електропередачі та їх математичні моделі для дослідження системи управління з метою визначення параметрів регуляторів за умови забезпечення якісних показників системи керування (величину перерегулювання, часу регулювання, число регулювання, швидкодію).

2. Запропонована математична модель може бути використана для розробки алгоритмів (рекурентних співвідношень) при побудові системи керування за допомогою засобів цифрової техніки, що дозволить створенню системи керування електропередачею дизель-поїзда на рівні сучасних вимог.

3. В процесі досліджень запропоновано розглядати в якості одного із основних показників ефективності функціонування системи керування як характеристику, що визначає якість функціонування - значення швидкодії.

4. Розроблені математичні і машинні моделі, за допомогою яких проведені дослідження з метою уточнення структур регуляторів і визначення значень їх параметрів, показали перспективність такого підходу при проектуванні сучасних систем керування електропередачами тягових одиниць рухомого складу.

5. Визначені параметри САР каналу формування струму тягового електродвигуна, які забезпечують задану якість керування (час перехідного процесу, величину перерегулювання, число перерегулювання, швидкодію) та допустимих меж зміни параметрів і задовольняють вимогам щодо працездатності в робочому проміжку швидкостей та можливих навантаженнях.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Walrave, Ellwanger G. Hochgeschwindigkeitsverkehr in Europa // ETR – Eisenbahntechnische Rundschau. – 1995. – №10. – P. 136 – 142.
2. Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / [Носков В.И., Дмитриенко В.Д., Заполовский Н.И., Леонов С.Ю.]. – Х.: ХФИ «Транспорт Украины», 2003. – 248 с.
3. Horstmann D. 100 Jahre Entwicklung der Antriebsstechnik für elektrische Bahnen. Teil 2 / Daniel Horstmann, Rudolf Wagner, Wolf-Dieter Weigel // Elek. Bahnen. – 2003. – No 7. – P. 338 – 345.
4. Заполовський М.Й. Синтез управлін для оптимізації динамічних процесів електроприводу змінного струму / М.Й. Заполовський, В.В. Скороделов, М.В. Мезенцев // Системи управління, навігації та зв'язку. – Вип. 4(50). Полтава. 2018. С. 38 – 41.
5. Грибко В.В. Мікропроцесорні системи керування електроприводами / В.В. Грибко, В.Ю. Кучерук, О.М. Возняк. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 146 с.
6. Носков В.И О создании тяговых асинхронных электроприводов в НПО «Электротяжмаш» / В.И. Носков, Н.И. Шпика, Г.И.Яровой // Новини енергетики. – 2001. – № 9. – С. 86 – 88.
7. Dressler Helmuk MICAS – Microcomputer für Fahrzeuge // Electriche Bahnen. – 1981.– Vol. 79. – №12. – P. 411 – 417.
8. Ерофеев А.А. Теория автоматического управления. 2-е изд., – СПб.: Политехника, 2001. – 302 с.
9. Абдулаев Н.Д. Теория и методы проектирования оптимальных регуляторов / Абдулаев Н.Д., Петров Ю.П. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
10. Гулятьев А. Визуальное моделирование в среде MATLAB: учебный курс – СПб: Питер, 2000. – 432 с.
11. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава. ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
12. Поповіч М.Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М.Г. Поповіч, О.Ю. Лозинський. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.
13. Следящие приводы: В 3т. 2-е изд., доп. и перераб. / Под. Ред. Б.К. Чемоданова. Т.1: Теория и проектирование следящих приводов / Е.С. Блейз, А.В. Зимин, Е.С. Иванов и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 904 с.
14. Файнштейн В.Г. Микропроцессорные системы управления тиристорными электроприводами / В.Г. Фейнштейн, Э.Г. Фейнштейн; Под. ред. О.В. Слежановского. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 240 с.
15. Ажогин В.В. Моделирование на цифровых, аналоговых и гибридных ЭВМ / В.В. Ажогин, М.З. Згуровский – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 280 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г. А. Кучук,

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків

Received (Надійшла) 10.12.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.01.2019

### Исследование системы управления электропередачи дизель-поезда и уточнение ее структуры

Н. И. Заполовский, Н. В. Мезенцев, В. В. Скороделов

Рассмотрены вопросы разработки и исследования моделей систем управления электропередачей дизель-поезда с электроприводом переменного тока. Проведен обзор литературных источников по заданной тематике и анализ существующих подходов к решению наиболее распространенных задач в данной области. Рассмотрены как стандартные алгоритмы управления отдельных контуров системы управления, так и варианты с использованием корректирующих звеньев. Разработаны математические модели, структурные схемы моделей контуров САР электропередачи дизель-поезда, предложены структуры и корректирующие звенья для отдельных контуров управления, проведено моделирование их функционирования. Предложены рекомендации, которые могут быть использованы для разработки структуры САР электропередачи дизель-поезда и расчета ее параметров при обеспечении определенного критерия качества. Определены параметры системы автоматического управления канала формирования тока тягового электродвигателя, которые обеспечивают заданное качество управления (время переходного процесса, величину перерегулирования, число перерегулирования, быстродействие), в допустимых пределах изменения параметров САР. Предложенные структуры регуляторов удовлетворяют требованиям работоспособности в рабочем промежутке скоростей и возможных нагрузках.

**Ключевые слова:** модели системы управления, электропередача, дизель-поезд, электропривод переменного тока, алгоритмы управления, корректирующие звенья, критерии качества.

### Research of the diesel train power control system and refinement of its structure

N. Zapolovsky, N. Mezentsev, V. Skorodelov

The issues of the development and research of models of power management systems of diesel trains with AC electric drive are considered. A review of the literature on a given topic and analysis of existing approaches to solving the most common problems in this area. Both standard control algorithms for individual control loops and variants using corrective links are considered. Mathematical models, structural diagrams of models of ACS power transmission circuits of a diesel train have been developed, structures and corrective units for individual control loops have been proposed, their functioning has been modeled. Recommendations are proposed that can be used to develop the structure of the ACS of the diesel train power transmission and calculate its parameters while ensuring a certain quality criterion. The parameters of the automatic control system of the channel for the formation of the current of the traction motor, which provide the specified quality of control (time of the transition process, overshoot value, overshoot number, speed), within the acceptable limits of change of the ACS parameters are determined. The proposed structures of regulators satisfy the requirements of working capacity in the working range of speeds and possible loads.

**Keywords:** control system models, power transmission, diesel train, AC drive, control algorithms, corrective links, quality criteria.

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

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

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

## ПОМИЛКА ВИМІРЮВАННЯ РАДІАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ ЦІЛІ ВНАСЛІДОК ВПЛИВУ ФЛУКТУАЦІЙ ПОЧАТКОВИХ ФАЗ РАДІОІМПУЛЬСІВ ПАЧКИ

У статті розглядаються питання оцінювання радіальної швидкості при використанні когерентної пачки радіоімпульсів стосовно випадку наявності у відбитих від цілі радіоімпульсах корельованих флуктуацій початкових фаз. Оцінюється точність вимірювання частоти пачки для випадку узгодженої обробки без врахування фазових флуктуацій її радіоімпульсів. Розгляд проводиться у припущенні, що на вхід приймального пристрою РЛС надходить адитивна суміш відбитих від цілей сигналів й некорельованого гаусівського шуму. Вважається, що фазові флуктуації радіоімпульсів прийнятої пачки розподілені за нормальним законом з нульовим середнім, а кореляція фазових флуктуацій зі збільшенням інтервалу між радіоімпульсами пачки убуває за експоненціальним або знакозмінним законами. Наведений аналіз дозволяє визначити умови, при яких ускладнення алгоритму обробки даного радіолокаційного сигналу вважається виправданим.

**Ключові слова:** когерентно-імпульсна РЛС, пачка радіоімпульсів, фазові флуктуації, радіальна швидкість, гаусівський шум, радіолокаційне спостереження, ефективність оптимізації.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Вдосконалення та розвиток сучасних аеродинамічних об'єктів радіолокаційного спостереження обумовлюють підвищення вимог до засобів їх виявлення та супроводження. Зростання маневрених можливостей цілей та спроможностей виконання ними завдань за призначенням на малих та граничних малих висотах з обгинанням рельєфу місцевості обумовлює необхідність оцінювання радіолокаторами різних класів похідних дальності до цілі з якомога високою точністю.

Визначення радіальної швидкості цілі протягом первинної часо-частотної обробки радіолокаційної інформації реалізовано в когерентно-імпульсних РЛС, які в якості зондувального сигналу використовують когерентну пачку радіоімпульсів. Ступінь когерентності даної пачки визначає тривалість її закономірної фазової структури і, як слід, міру роздільної здатності РЛС за радіальною швидкістю та точність вимірювання радіальної швидкості повітряного об'єкта.

Реальні умови поширення та відбиття радіолокаційного сигналу здатні суттєво обмежувати його часову когерентність та якість його часо-частотної обробки. До вказаних умов можна віднести вплив атмосферних неоднорідностей [1–3], доплерівський шум цілі [4, 5, 6] та відбиття радіохвиль від земної поверхні зі складним рельєфом місцевості [7, 8, 9].

Оцінка можливого зниження точності вимірювання радіальної швидкості цілі за рахунок фазових флуктуацій сигналу дозволить визначити умови доцільності оптимізації його обробки.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Радіолокаційному спостереженню цілей та вимірюванню їх координат й параметрів руху в складних умовах присвячена значна кількість робіт.

Спотворення фазової структури радіолокаційного сигналу мають різну природу виникнення. Флуктуації фази, обумовлені наявністю атмосферних неоднорідностей та особливості застосування радіотех-

нічних систем в умовах їхнього впливу описані в роботах [1, 7, 10, 12]. Окрім цього, складна форма цілі та здатність до виконання раптового маневру, обумовлює блукання її радіолокаційного центру та, як слід, появи фазових викривлень прийнятого сигналу та швидкісних шумів цілі [1, 4, 5, 13, 14]. Якщо радіолокаційне спостереження реалізується по цілям, що рухаються під малими кутами місця, та внаслідок багатотрасового поширення радіолокаційного сигналу з'являються його додаткові фазові викривлення, що розглядаються у [4, 7, 8, 15, 16].

В сучасних когерентно-імпульсних РЛС з цифровою обробкою для забезпечення радіолокаційного спостереження складних маневруючих цілей використовується когерентна пачка радіоімпульсів. Тому, має практичну користь оцінювання помилок вимірювання радіальної швидкості цілі в залежності від статистичних характеристик фазових флуктуацій радіоімпульсів прийнятої пачки.

Методика розрахунку помилки вимірювання частоти пачки, що виникає внаслідок впливу фазових флуктуацій її радіоімпульсів наведена у [17, 18]. Як показано в роботі [19, 20], можливі значення помилки вимірювання радіальної швидкості цілі, які виникають внаслідок фазових спотворень пачки радіоімпульсів здатні перевищувати допустимі значення РЛС різних діапазонів довжин хвиль.

**Метою статті** є аналіз впливу статистичних характеристик флуктуацій початкових фаз радіоімпульсів прийнятої когерентної пачки на зниження точності вимірювання радіальної швидкості цілі.

### Основний матеріал

Оцінювання радіальної швидкості цілі здійснюється згідно з виразом [1, 2]:

$$V_r = (\lambda / (4\pi)) \cdot \Omega, \quad (1)$$

де  $\Omega = 2\pi F_D$  - циклічний доплерівський зсув частоти;  $F_D$  - частота Доплера;  $\lambda$  - довжина хвилі радіолокаційного сигналу.

Нижче отримаємо вираз дисперсії загальної помилки вимірювання  $\sigma_{\Sigma}^2$  для прямокутної пачки радіоімпульсів.

Припускається, що прийнята реалізація представляє собою суму відбитої від цілі пачки радіоімпульсів та внутрішнього шуму приймального пристрою

$$y(t, \Omega) = x(t, \Omega) + n(t), \quad (2)$$

де  $y(t, \Omega)$  - реалізація прийнятого коливання;  $x(t, \Omega)$  - реалізація корисного сигналу;  $n(t)$  - реалізація внутрішнього гаусівського шуму.

Корисним сигналом є когерентна пачка радіоімпульсів з випадковою амплітудою і початковою фазою, комплексна амплітуда якої описується виразом

$$X(t, \Omega) = b \sum_{i=1}^n X_i(t, \Omega) \exp[j(\beta)], \quad (3)$$

де  $X_i(t, \Omega)$  - комплексна амплітуда  $i$ -го радіоімпульсу;  $b$  - випадкова амплітуда радіосигналу, яка розподілена за законом Релея;  $\beta$  - випадкова початкова фаза радіосигналу, яка розподілена за рівномірним законом;  $i$  - номер радіоімпульсу, який відлічується від початку пачки;  $n$  - число радіоімпульсів в пачці.

В роботі [1] визначено, що відношення правдоподібності для когерентного сигналу з рівномірно розподіленою випадковою фазою й випадковою амплітудою, розподіленою за законом Релея, як результат статистичного усереднення за випадковими параметрами  $b$  і  $\beta$  має вид

$$(\Omega) = \frac{1}{1+q^2/2} \exp \frac{q^2/2}{2(1+q^2/2)} |Z_n(\Omega)|^2, \quad (4)$$

де  $q^2$  - відношення сигнал-шум за потужністю;  $|Z_n(\Omega)|^2$  - квадрат модулю нормованого комплексного вагового інтеграла як функція вимірюваного параметра.

В умовах регулярного вимірювання ( $q^2 \gg 1$ ) справедливою є рівність

$$|Z_n(\Omega)| = |Z_n(\Phi_c, \Phi_o)| \approx q\rho(\Phi_c, \Phi_o) = q\rho(\Omega), \quad (5)$$

де  $\Phi_c = \|\Phi_{ci}\|^T$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) - вектор спостережуваних значень початкових фаз радіоімпульсів пачки;  $\Phi_o = \|\Phi_{oi}\|^T$  - вектор очікуваних значень початкових фаз радіоімпульсів пачки;  $\rho(\Phi_c, \Phi_o) = \rho(\Omega)$  - нормована функція розузгодження за початковою фазою спостережуваного та очікуваного радіосигналу.

З урахуванням (5) відношення правдоподібності (4) при  $q^2 \gg 1$  приймає вигляд

$$(\Omega) \approx \frac{2}{q^2} \exp \frac{q^2 \rho^2(\Omega)}{2}. \quad (6)$$

Як показано в [17], у випадку когерентної пачки з постійним періодом слідування радіоімпульсів квадрат нормованої функції розузгодження за частотою описується виразом

$$\begin{aligned} \rho^2(\Omega) = & 1 - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \xi_i \xi_j (\Phi_i - \Phi_j)^2 - \\ & - \frac{1}{2} T^2 \Omega^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \xi_i \xi_j (i-j)^2 + \\ & + T\Omega \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \xi_i \xi_j (i-j) (\Phi_i - \Phi_j), \end{aligned} \quad (7)$$

де  $\Omega = \omega - \omega_0$  - розузгодження між очікуваною  $\omega$  й спостережуваною  $\omega_0$  циклічними частотами пачки імпульсів;  $i, j$  - номери імпульсів, які відлічуються від початку пачки;  $\Phi_i, \Phi_j$  - спостережувані значення початкової фази  $i$ -го і  $j$ -го радіоімпульсів відповідно;  $\xi_i = \frac{Z_i}{Z_{\Sigma}}$ ;  $Z_i = \frac{1}{2} \left| \int_{-\infty}^{\infty} Y_i(t) X_i^*(t) dt \right|$  - модуль сигнальної частини комплексного кореляційного інтеграла для  $i$ -го радіоімпульсу;  $Y_i(t)$  - комплексна обвідна прийнятого  $i$ -го радіоімпульсу;  $X_i^*(t)$  - комплексно спряжена обвідна опорної напруги при обробці  $i$ -го радіоімпульсу;  $Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Z_i$ ;  $T$  - період слідування радіоімпульсів пачки.

Згідно [1] визначено, що оцінювання доплеровського зсуву частоти пачки радіоімпульсів може бути здійснено шляхом знаходження аргументу максимуму натурального логарифму відношення правдоподібності (6)

$$\Omega = \arg \max \ln (\Omega). \quad (8)$$

Для симетричного амплітудного розподілу радіоімпульсів в пачці  $\xi_i = \xi_{n+1-i}$ , підставляючи вираз (7) у вираз (6), логарифмуючи й залишаючи тільки залежні від вимірюваних параметрів доданки, одержуємо вираз для достатньої статистики

$$\begin{aligned} S(\Omega) = \ln (\Omega) = & - \frac{q^2}{2} \left\{ \frac{T^2}{2} \Omega^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \xi_i \xi_j (i-j)^2 - \right. \\ & \left. - T\Omega \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \xi_i \xi_j (i-j) (\Phi_i - \Phi_j) \right\}. \end{aligned} \quad (9)$$

Оцінка і дисперсія помилки оцінювання частоти пачки радіоімпульсів отримується згідно методу найбільшої правдоподібності [1] за виразами:

$$\frac{dS(\Omega)}{d\Omega} = 0 \text{ при } \Omega = \hat{\Omega}, \quad (10)$$

$$\frac{1}{\sigma_{\Omega}^2} = -\frac{d^2 \ln(\Omega)}{d\Omega^2} = -\frac{d^2 S(\Omega)}{d\Omega^2} \text{ при } \Omega = \Omega, \quad (11)$$

де  $\ln(\Omega)$  - натуральний логарифм відношення правдоподібності (6) або його достатньої статистики  $S(\Omega)$ ;  $\Omega$  – оцінка частоти пачки радіоімпульсів.

Після одноразового і дворазового диференціювання по вимірюваному параметру достатньої статистики (9) одержуються оцінка і дисперсія помилки оцінювання частоти в такому вигляді

$$\Omega = \sum_{j=1}^m \xi_j (2j-1) R_j / T \sum_{j=1}^m \xi_j (2j-1)^2, \quad (12)$$

$$\frac{1}{\sigma_{\Omega}^2} = \frac{q^2 T^2}{2} \sum_{j=1}^m \xi_j (2j-1)^2, \quad (13)$$

де  $R_j$  - різниця початкових фаз  $j$ -ої симетричної пари радіоімпульсів;  $m$  – число пар радіоімпульсів, симетричних відносно центру пачки.

Якщо пачка радіоімпульсів має прямокутну, обвідну ( $\xi_i = \frac{1}{n}$ ), вирази (12) і (13) можна перетворити до виду

$$\Omega = \frac{3}{m(4m^2-1)T} \sum_{j=1}^m (2j-1) R_j, \quad (14)$$

$$\frac{1}{\sigma_{\Omega}^2} = \frac{q^2 (4m^2-1)}{12} T^2. \quad (15)$$

Випадкова помилка виміру частоти, обумовлена флуктуаціями початкових фаз імпульсів пачки може бути представлена виразом

$$\Delta\Omega = \frac{3}{m(4m^2-1)T} \sum_{j=1}^m (2j-1) \Delta R_j. \quad (16)$$

де  $\Delta R_j$  - флуктуації різниці фаз  $j$ -ої симетричної пари радіоімпульсів.

Дисперсія цієї помилки визначається виразом

$$\sigma_{\Omega\phi l}^2 = \frac{9}{m^2 (4m^2-1)^2 T^2} \left\langle \left[ \sum_{j=1}^m (2j-1) \Delta R_j \right]^2 \right\rangle. \quad (17)$$

де  $\langle \rangle$  – операція статистичного усереднення.

Дисперсія загальної помилки вимірювання частоти пачки радіоімпульсів визначається сумою дисперсії  $\sigma_{\Omega}^2$  помилки (15) обумовленої впливом внутрішніх шумів приймального пристрою й дисперсії  $\sigma_{\Omega\phi l}^2$  помилки (17), викликаної фазовими флуктуаціями радіоімпульсів пачки

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sigma_{\Omega}^2 + \sigma_{\Omega\phi l}^2. \quad (18)$$

Вважається, що фазові флуктуації радіоімпульсів прийнятої пачки розподілені за нормальним за-

коном с нульовим середнім, а кореляція фазових флуктуацій сусідніх радіоімпульсів пачки убуває за експоненціальним або за знаковмінним законом [1].

Реалізація статистичного усереднення (17) дозволяє отримати вираз дисперсії загальної помилки вимірювання частоти пачки радіоімпульсів

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \frac{12}{q^2 T^2 (4m^2-1)} + \frac{18\sigma_{\phi}^2}{m^2 T^2 (4m^2-1)^2} \times \\ \times \left[ \sum_{k=1}^m (2k-1)^2 (1-a^{(2k-1)}) + \right. \\ \left. + 2 \sum_{k=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{m-k} a^i (2k-1)(2k+2i-1)(1-a^{(2k-1)}) \right], \quad (19)$$

де  $\sigma_{\phi}^2$  – дисперсія фазових флуктуацій;  $a$  - коефіцієнт кореляції фазових флуктуацій сусідніх радіоімпульсів пачки.

На рис. 1 надані графіки залежності добутку квадрата загальної середньоквадратичної помилки вимірювання частоти пачки з десяти радіоімпульсів і періоду їх слідування  $(\sigma_{\Sigma} T)^2$ .

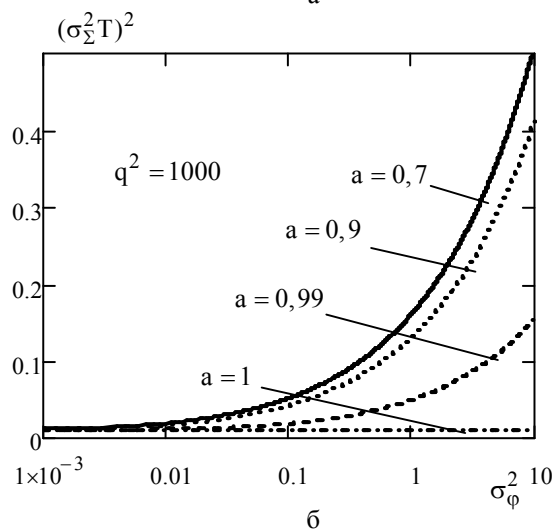
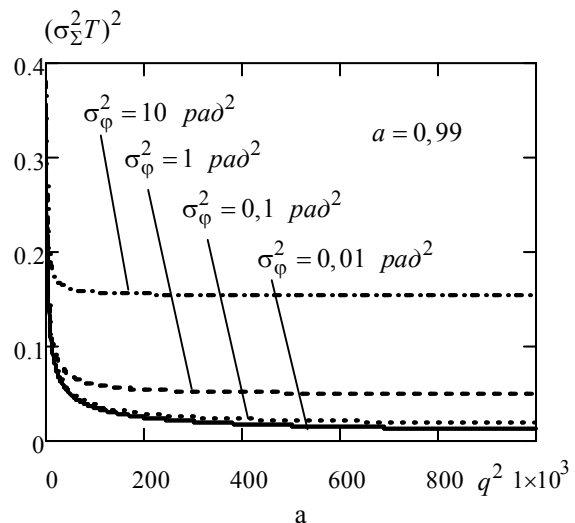


Рис. 1. Дисперсія помилки вимірювання частоти пачки радіоімпульсів при відсутності врахування фазових флуктуацій

Період слідування  $(\sigma_{\Sigma T})^2$ , отриманий згідно (19), залежить від відношення сигнал-шум по потужності  $q^2$  (рис 1, а) та від дисперсії фазових флуктуацій (рис.1,б) при експоненціальному законі убавання їх кореляції в межах пачки радіоімпульсів.

Графіки на рис. 1, а отримані для коефіцієнта міжімпульсної кореляції фазових флуктуацій  $a = 0,99$  та різних значень дисперсії фазових флуктуацій  $\sigma_{\phi}^2 = 0,01; 0,1; 1; 10 \text{ рад}^2$ .

Графіки на рис. 1, б отримані для відношення сигнал-шум за потужністю  $q^2 = 1000$  та різних значень коефіцієнта міжімпульсної кореляції фазових флуктуацій  $a = 0,7; 0,9; 0,99; 1$ .

Результати наведені на рис. 1,а вказують на те, що в умовах регулярного вимірювання (при  $q^2 \gg 1$ ), точність вимірювання частоти пачки радіоімпульсів в значно більшому ступені залежить від статистичних характеристик фазових флуктуацій ніж від відношення сигнал-шум.

При незначному впливі фазових флуктуацій, збільшення їх дисперсії на порядок в області малих значень ( $\sigma_{\phi}^2 = 0,01 \dots 0,1 \text{ рад}^2$ ) майже не впливає на зміну величини дисперсії помилки вимірювання частоти пачки радіоімпульсів. При значному впливі фазових флуктуацій, збільшення їх дисперсії на порядок в області суттєвих значень ( $\sigma_{\phi}^2 = 1 \dots 10 \text{ рад}^2$ ), які можуть мати місце в реальних умовах виконання РЛС завдань за призначенням, призводить до зростання дисперсії помилки вимірювання частоти пачки радіоімпульсів на порядок і більше. Дані результати отримані при зменшенні коефіцієнта міжімпульсної кореляції фазових флуктуацій лише на 1% ( $a = 0,99$ ).

Графіки на рис. 1, б вказують на те, що при незначних величинах дисперсії фазових флуктуацій ( $\sigma_{\phi}^2 = 0,01 \dots 0,1 \text{ рад}^2$ ), зменшення коефіцієнту їх міжімпульсної кореляції на десятки відсотків в діапазоні значень  $a = 1 \dots 0,7$  не суттєво впливає на величину дисперсії помилки вимірювання частоти пачки радіоімпульсів у порівнянні з випадком відсутності впливу фазових флуктуацій (при  $a = 1$ ). При значних величинах дисперсії фазових флуктуацій ( $\sigma_{\phi}^2 = 1 \dots 10 \text{ рад}^2$ ), дисперсія помилки вимірювання частоти пачки радіоімпульсів здатна зростати в десятки разів, причому найбільш яскраво це проявляється при зменшенні коефіцієнта міжімпульсної кореляції на 1...10% ( $a = 0,99 \dots 0,9$ ), що дійсно може мати місце в практичних випадках.

Таким чином, вказане свідчить про необхідність врахування випадкових фазових викривлень радіолокаційного сигналу в алгоритмах його часочастотної обробки у діапазоні значень їхніх статистичних характеристик

$$\sigma_{\phi}^2 = 1 \dots 10 \text{ рад}^2, \quad a = 0,99 \dots 0,9,$$

що виникають внаслідок впливу реальних умов функціонування РЛС.

## Висновки

Вплив реальних умов виконання РЛС завдань за призначенням обумовлюють виникнення флуктуацій початкових фаз радіоімпульсів прийнятої пачки. Точність вимірювання радіальної швидкості цілі суттєво залежить від статистичних характеристик фазових флуктуацій – дисперсії і кореляції, значення яких визначають умови і доцільність оптимізації часо-частотної обробки прийнятої пачки радіоімпульсів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория / под. ред. Я.Д. Ширмана. – М: З.А.О. «МАКВИС», 1999. – 828 с.
2. Вопросы статистической теории антенн / Я.С. Шифрин – М:Сов. радио, 1970. – 383 с.
3. Влияние среды распространения радиоволн на приморском направлении при измерении угловых координат радиолокационных целей / В.Д. Карлов, Н.Н. Петрушенко, В.В. Челпанов, К.П. Квиткин // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил – Х: ХУПС, 2010. – № 3(25) – С. 51-53.
4. Справочник по радиолокации / Под ред. М. Скольника / Пер. с англ. под общ. ред. К.Н. Трофимова. – М: Сов. радио, 1976, Т 1. – 456с.
5. Статистическая теория радиолокации протяженных целей / Р.В. Островитянов, Ф.А. Басалов – М: Радио и связь, 1982. – 232с.
6. Обнаружение аэродинамических целей в условиях шумовых и пассивных помех с широким доплеровским спектром / В.Д. Карлов, И.Г. Леонов, А.Е. Присяжный, О.Я. Луковский // Системи обробки інформації – Х: ХУПС, 2006. – № 9(58) – С. 34-36.
7. Влияние тропосферы и подстилающей поверхности на работу РЛС / Н.П. Красюк – М: Радио и связь, 1988. – 223 с.
8. Котов А.Ф. Влияние отражений от подстилающей поверхности на процесс локации объектов // Теория и практика систем синхронизации / Московский институт радиотехники электроники и автоматики. – М.: – 1992. – С.4-8.
9. Влияние неоднородностей рельефа позиции радиолокационной станции на эффективность подавления внешней помехи при локации надводных целей / В.Д. Карлов, Н.Н. Минервин, Н.Н. Петрушенко, Е.В. Лукашук // Системи управління навігації та зв'язку – К: ЦНДІ навігації і управління, 2008. – № 4 (8) – С. 34-36.
10. Петрушенко М.М. Особливості застосування радіотехнічних систем Повітряних Сил в нестабільних гідрометеорологічних умовах та стихійних метеорологічних явищах / М.М. Петрушенко // Системи управління навігації та зв'язку – К: Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, 2009. – № 2 (10) – С. 54-57.
11. Влияние флуктуаций фронта помеховой волны на эффективность её подавления корреляционным компенсатором в радиотехнических системах приморского базирования / В.Д. Карлов, Н.Н. Минервин, Н.Н. Петрушенко, Е.В. Лукашук, О.Я. Луковский // Системи обробки інформації – Х: ХУПС, 2008. – № 7(74) – С. 87-93.

12. До питання про вимірювання дальності маловисотної цілі при її радіолокації в межах тропосферного хвилеводу над морем / В.Д. Карлов, Д.Б. Кучер, О.В. Струцинський, О.В. Лукашук // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України – Х: ХНУПС, 2016. – № 3(24) – С. 98-101.
13. К вопросу о измерении доплеровской частоты сигнала отраженного от цели лоцируемой за пределами радиогоризонта над морем / В.Д. Карлов, А.П. Кондратенко, А.К. Шейгас, Ю.Б. Ситник // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України – Х: ХУПС, 2014. – № 1(14) – С. 115-117.
14. Особенности измерения радиальной складовой скорости цели, лоцируемой под малыми кутами місця над морем / В.Д. Карлов, М.М. Петрушенко, Г.В. Певцов, А.І. Нос // Тези доповідей 8 наукової конференції ХУПС ім. І. Кожедуба «Новітні технології-для захисту повітряного простору», 18-19 квітня 2012 року – Х: ХУПС, 2012. – С. 295.
15. Использование фазометрического метода при оптимизации измерения радиальной составляющей скорости цели, лоцируемой за пределами радиогоризонта над морем / В.Д. Карлов, Н.Н. Петрушенко, А.И. Нос // Тези доповідей 12 науково-технічної конференції „Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах”, Феодосія, 6-7 вересня 2012 року – Ф: 2012. – С. 198.
16. Использование фазометрического метода при оптимизации измерения радиальной составляющей ускорения цели над морем / В.Д. Карлов, Н.Н. Петрушенко, А.И. Нос // Тези доповідей 12 науково-технічної конференції „Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах”, Феодосія, 6-7 вересня 2012 року – Ф: 2012. – С. 210.
17. Ошибки измерения радиальной скорости и радиального ускорения цели, обусловленные неучетом флуктуаций фаз импульсов пачки / Н.Н. Минервин, А.Л. Кузнецов // Авіаційно-космічна техніка і технологія – Х: ХАІ, 2001. – № 22 – С. 288-294.
18. Про вплив механізму розповсюдження радіохвиль на локацію цілей в тропосферному радіохвилеводі над морем / В.Д. Карлов, О.В. Бесова, М.М. Олещук, М.М. Петрушенко // Тези доповідей 10 наукової конференції ХУПС ім. І. Кожедуба «Новітні технології-для захисту повітряного простору», 9-10 квітня 2014 року – Х: ХУПС, 2014. – С. 254.
19. Ограничение точности измерения радиальной скорости цели за счет условий распространения, отражения и обработки радиолокационного сигнала / М.М. Мінервін, О.Л. Кузнецов, В.А. Таршин // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил – Х: ХУПС, 2006. – № 3(9) – С. 116-118.
20. Результаты экспериментальных исследований особенностей локации маловисотных целей, що здійснюють політ над морською поверхнею / В.Д. Карлов, М.М. Олещук, Г.В. Певцов, В.Л. Місайлов // Матеріали третьої міжнародної НТК «Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем IPST-2014 – Х: НТУ «ХП», 2014. – С. 35.

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

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

Received (Надійшла) 12.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.01.2019

#### **Ошибка измерения радиальной скорости цели вследствие влияния флуктуаций начальных фаз радиоимпульсов пачки**

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

В статье рассматриваются вопросы оценивания радиальной скорости при использовании когерентной пачки радиоимпульсов применительно к случаю наличия в отраженных от цели радиоимпульсах коррелированных флуктуаций начальных фаз. Оценивается точность измерения частоты пачки для случая согласованной обработки без учета фазовых флуктуаций. Рассмотрение проводится в предположении, что на вход приемного устройства РЛС поступает аддитивная смесь отраженных от целей сигналов и некоррелированного гауссовского шума. Предполагается, что фазовые флуктуации радиоимпульсов принятой пачки распределены по нормальному закону с нулевым средним, а корреляция фазовых флуктуаций с увеличением интервала между радиоимпульсами пачки убывает по экспоненциальному или знакопеременному законам. Приведенный анализ позволяет определить условия, при которых усложнение алгоритма обработки данного радиолокационного сигнала считается оправданным.

**Ключевые слова:** когерентно-импульсная РЛС, пачка радиоимпульсов, фазовые флуктуации, радиальная скорость, гауссовский шум, радиолокационное наблюдение, эффективность оптимизации.

#### **Accuracy of the measurement of the target's radial velocity with influency fluctuations of the radio pulse burst's initial phases**

V. Karlov, O. Kuznietsov, A. Artemenko, A. Karlov

The article deals with the estimation of the radial velocity when using a coherent burst of radio pulses as applied to the presence of correlated fluctuations of the initial phases in the radio pulses reflected from the target. The accuracy of the measurement of the burst frequency is evaluated for case of coordinated processing without taking into account the phase fluctuations. The signals at the input of the radar's receiver is an additive mixture of signals reflected from the targets, and uncorrelated Gaussian noise, that is the assumption of investigating. It is assumed, that the phase fluctuations of the received radio pulses bursts are distributed according to normal probability laws with zero mean, and correlations of phase fluctuations decrease with exponential or alternating, sign-variable laws by increasing interval between radio pulses within the bursts. This analysis makes it possible to determine the conditions under which the complication of the processing algorithm for this radar signal is considered justified.

**Keywords:** coherent pulse radar, burst of radio pulses, phase fluctuations, radial velocity, Gaussian noise, radar surveillance, optimization efficiency.



Б. Т. Кононов, Ю. Д. Мусаїрова, А. А. Матвієнко

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

## ВИКОРИСТАННЯ ЧАСОВИХ БУЛЕВИХ ФУНКЦІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ УДОСКОНАЛЕНИХ ПРИСТРОЇВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ, АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ І ДІАГНОСТИКИ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Пропонується при створенні нових та модернізації існуючих систем електропостачання комплексів озброєння і військової техніки розробляти пристрої релейного захисту, автоматики та технічної діагностики основного обладнання цих систем використовувати безконтактні електричні апарати, проектування та розробка яких здійснюється з використанням математичного апарата алгебри логіки, в якому пропонується брати за основу часові булеві функції. Дається визначення часових булевих функцій та часових операторів. Наводяться основні часові булеві функції і приклади реалізації часових булевих функцій і операторів затримки. Розглядається приклад розробки логічної частини релейного захисту системи гарантованого живлення, в якій накопичувачем енергії є інерційний маховик, а перетворювачем енергії є синхронна електрична машина, яка в залежності від стану зовнішнього вводу працює в режимі синхронного електричного двигуна, або в режимі синхронного генератора. Наводиться схема логічної частини пристрою релейного захисту цієї системи.

**Ключові слова:** часові булеві функції, часові оператори затримки, пристрої релейного захисту, автоматики та технічної діагностики.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Існуючі в Збройних Силах України системи електропостачання комплексів озброєння і військової техніки, як правило, розроблялись в 50-60 роках минулого століття, відпрацювали в основному свій ресурс й вимагають суттєвого удосконалення. Подальший розвиток військової енергетики обумовлює необхідність підвищення технічного рівня основного обладнання систем електропостачання військових об'єктів, підвищення надійності пристроїв релейного захисту, автоматики та технічної діагностики, рішення проблеми комплексної автоматизації управління власне військовою системою електропостачання в нормальних, аварійних та післяаварійних режимах.

Удосконалення основного обладнання систем електропостачання військових об'єктів, використання в цих системах новітніх джерел та перетворювачів енергії й електричних апаратів, створених з врахуванням сучасних досягнень науки та техніки, вимагає змінювати існуючу практику розробки пристроїв релейного захисту, автоматики та технічної діагностики шляхом переходу від інтуїтивних методів їх аналізу та синтезу до наукових, що використовують сучасний математичний апарат і дозволяють здійснювати формалізацію етапів проектування та розробки.

Багато операцій, що виконуються пристроями релейного захисту, автоматики та технічної діагностики здійснюються з витримкою у часі, для отримання якої використовуються електромеханічні реле часу, які разом зі звичайними електромеханічними реле суттєво знижують надійність. Підвищення надійності пристроїв релейного захисту, автоматики та технічної діагностики можливо очікувати якщо використовувати при їх створенні безконтактні електричні апарати, робота яких заснована на теорії релейних пристроїв [1-4]. **Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В відомій літературі [1-4]

наводилися шляхи удосконалення та забезпечення надійності технічних систем, використовуючи для цього теоретичні методи аналізу та синтезу систем як об'єктів контролю, обґрунтовуючи при цьому оптимальні способи перевірки працездатності та пошуку несправностей в них. Основна увага в [1-4] приділялась удосконаленню "розума" логічної частини пристроїв релейного захисту, автоматики та технічної діагностики, які, отримуючи інформацію від вимірювальних органів, переробляють її по заданому алгоритму, впливаючи головним чином на надійність функціонування схеми в цілому. Можливості підвищення чутливості, швидкодії і інших чинників на підставі оптимізації логічної структури використовувались недостатньо. Ще менше уваги приділялось питанням удосконалення автоматики енергосистем, в яких використовувались дискретні пристрої, властивості яких засновані на реалізації часових булевих функцій.

**Метою** статті є обґрунтування можливостей удосконалення пристроїв релейного захисту, автоматики та технічної діагностики шляхом використання при створенні їх логічної частини часових булевих функцій.

### Основна частина

Перш за все, введемо основні визначення. Для отримання опису роботи релейних пристроїв у часі необхідно крім логічних змінних ввести змінну часу  $t$ , розбив величину часу на дві дискретні області, позначив їх як 0 та 1. Будемо вважати, що якщо поточне значення часу менше деякої заданої величини  $T$ , то будемо вважати, що змінна величина часу дорівнює 0, а якщо це значення часу більше  $T$ , то змінна величина дорівнює 1, тобто

$$t = \begin{cases} 0, & \text{при } t < T; \\ 1 & \text{при } t \geq T, \end{cases} \quad (1)$$

де  $t_t$  – поточне значення часу.

Введемо в розгляд функцію вигляду

$$y = f(x, t), \tag{2}$$

де  $x$  – логічна змінна, що приймає значення 0 або 1, а  $t$  – часова логічна змінна, яка у відповідності до (1) також приймає значення 0 або 1. Функцію вигляду (2) прийнято називати часовою бульовою функцією двох змінних, для якої можливі наступні комбінації змінних  $x$  та  $t$ , а саме: 0,0; 0,1; 1,0; 1,1.

В таблиці 1 наведені 16 можливих часових бульових функцій, які обмежені порогом часу  $\tau$  та часом існування сигналу на чотири інтервали: перший з комбінацією змінних  $x$  та  $t$  1,0; другий з комбінацією 1,1; третій з комбінацією 0,0 та четвертий з комбінацією 0,1.

Таблиця 1 – Часові бульові функції

Комбінації змінних $x$ та $t$	Змінні та функції	Значення функцій при різних порогах часу		
		0	$T = 0$	$T \rightarrow \infty$
0011	$x$	0	$T = 0$	$T \rightarrow \infty$
0101	$t$	0	0	0
0000	$F_0$	0	0	0
0001	$F_1$	$x \times t$	$x$	0
0010	$F_2$	$x \times \bar{t}$	0	$x$
0011	$F_3$	$x$	$x$	$x$
0100	$F_4$	$\bar{x}t$	$\bar{x}$	0
0101	$F_5$	$(x \vee \bar{x})t$	1	0
0110	$F_6$	$\bar{x}t \vee \bar{x}t$	$\bar{x}$	$x$
0111	$F_7$	$x \vee \bar{x}t$	1	$\bar{x}$
1000	$F_8$	$\bar{x}t$	0	$\bar{x}$
1001	$F_9$	$\bar{x}t \vee \bar{x}t$	$x$	$\bar{x}$
1010	$F_{10}$	$(x \vee \bar{x})\bar{t}$	0	1
1011	$F_{11}$	$x \vee \bar{x}t$	$x$	1
1100	$F_{12}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
1101	$F_{13}$	$\bar{x} \vee \bar{x}t$	1	$\bar{x}$
1110	$F_{14}$	$\bar{x} \vee \bar{x}t$	$\bar{x}$	1
1111	$F_{15}$	1	1	1

Реалізацію часових бульових функцій можливо отримати з використанням різних фізичних елементів: наприклад, активних опорів  $R$  та індуктивностей  $L$  або активних опорів  $R$  та ємностей  $C$ . На рис. 1 показані приклади реалізації деяких часових бульових функцій на основі RC-кіл.

У випадку, коли  $T = 0$  в колі RC є місце розрив кола конденсатора, а в випадку коли  $T \rightarrow \infty$  конденсатор  $C$  є замкненим. При наявності сигналу (рис. 1, а) вважаємо, що є мінусовий потенціал, а при його відсутності – потенціал плюсовий. Якщо  $T = 0$ , коло конденсатора розірване і на виході  $y$  завжди буде мінусовий потенціал, тобто  $y = 1$ . Якщо  $T \rightarrow \infty$ , коло конденсатора  $C$  замкнено й на виході буде  $y = x$ . Якщо  $0 < T < \infty$ , то схема на рис. 1, а реалізує функцію  $F_7$ , оскільки

$$F_7 = x \vee \bar{x}t = x \vee t. \tag{3}$$

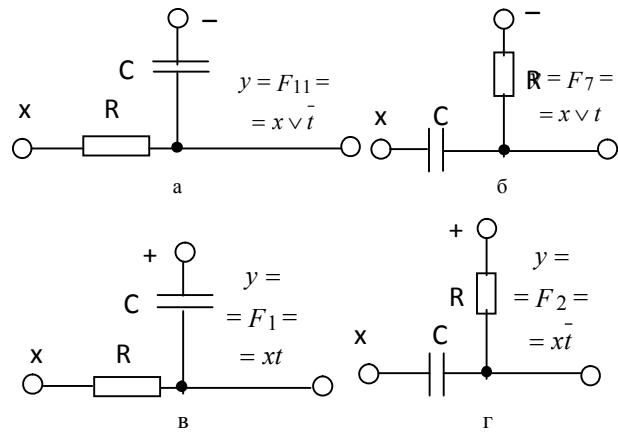


Рис. 1. Приклади реалізації часових бульових функцій

Остаточний результат в виразі (3) отримано з використанням другої формули розкладу бульових функцій [5], відповідно до якої в випадку, коли в схемі є окремо винесений паралельно включений контакт, решта однойменних за дією контактів вилучаються, а різнойменні за дією контакти закорочуються.

Схема, яка наведена на рис. 1, б при  $T = 0$  дозволяє отримати  $y = x$ , при  $T \rightarrow \infty$  –  $y = 1$ , а при  $0 < T < \infty$   $y = F_{11}$ , оскільки

$$F_{11} = x \vee \bar{x}t = x \vee t. \tag{4}$$

В схемі, яка наведена на рис. 1, в, при  $T = 0$  маємо, що  $y = 0$ , при  $T \rightarrow \infty$  маємо, що  $y = x$ , а при  $0 < T < \infty$   $y = F_2 = \bar{x}t$ . В схемі, яка наведена на рис.1.г, при  $T = 0$  маємо, що  $y = x$ , при  $T \rightarrow \infty$  маємо, що  $y = 0$ , а при  $0 < T < \infty$   $y = F_1 = xt$ .

В випадку, коли на входи схем рис.1 подається сигнал  $\bar{x}$ , схема, що наведена на рис.1.а реалізує функцію  $F_{13} = \bar{x} \vee \bar{x}t = \bar{x} \vee t$ , і відповідно отримуємо  $F_{14} = \bar{x} \vee \bar{x}t = \bar{x} \vee t$  для схеми, що наведена на рис. 1, б,  $F_8 = \bar{x}t$  для схеми, яка наведена на рис.1.в, й  $F_4 = \bar{x}t$  для схеми, яка наведена на рис.1.г. З таблиці 1 бачимо, що любую часову бульову функцію можливо представити за допомогою функцій  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_4$  та  $F_7$ , тобто представити її в вигляді RC-кіл. Для спрощення форми запису зв'язків між змінними і функціями доцільно ввести поняття часових операторів. Так, часова бульова функція  $F_1$  описує роботу часового оператора  $Z_1$  затримки появи сигналу, дійсно

$$F_1 = xt = xZ_1. \tag{5}$$

З (5) слідує, що сигнал на виході елемента, який реалізує часову бульову функцію  $F_1$ , з'являється з запізненням на час  $t$  і зникає одночасно з зникненням вхідного сигналу  $x$ . Часова бульова функція  $F_2$  описує роботу оператора обмеження тривалості існування сигналу  $Z_2$ :

$$F_2 = \bar{x}t = x3_2. \quad (6)$$

Часова бульова функція  $F_{11}$  описує роботу оператора затримки часу зникнення сигналу  $3_3$ :

$$F_{11} = x \vee \bar{x}t = x \vee \bar{t} = x3_3, \quad (7)$$

а часова бульова функція  $F_4$  описує роботу оператора затримки на появу і зникнення сигналу  $3_4$ :

$$F_4 = xt \vee \bar{x}t = x3_4. \quad (8)$$

На рис. 2 наведений приклад реалізації елемента затримки  $3_2$ .

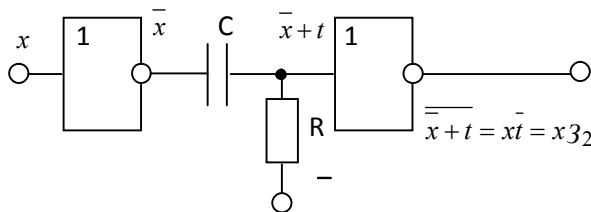


Рис. 2. Реалізація обмеження тривалості існування сигналу

Оскільки пристрої релейного захисту, автоматики і технічної діагностики працюють в умовах використання різноманітних затримок у часі, опис їх роботи та синтез логічної структури цих пристроїв необхідно виконувати з використанням часових булевих функцій та часових операторів. Так, під час опису роботи існуючих пристроїв слід скласти структурну або функціональну схему пристрою, далі отримати алгебраїчну форму запису для кожного елемента пристрою, потім побудувати таблицю або матрицю станів пристрою і, нарешті, визначити за допомогою таблиці або матриці станів умови роботи.

Під час синтезу [5–8] роботи пристрою спочатку необхідно визначити умови його роботи, тобто визначити типи й значення часових затримок, далі треба знайти кількість елементів, необхідних для реалізації часових затримок, потім скласти таблицю станів і при необхідності таблицю переходів або отримати структурні формули, які описують роботу проміжних або вихідних елементів, нарешті необхідно побудувати структурну схему та запропонувати технічну реалізацію логічних і часових операцій з врахуванням можливості використання типових елементів, які випускаються промисловістю.

При створенні пристроїв технічної діагностики необхідно спочатку розробити програму виконання перевірок, передбачив при цьому необхідність автоматизації всіх перевірочних операцій. В програмі перевірки слід визначитися з основними елементами системи, встановити зв'язки між ними, описати можливі стани системи і можливі несправності.

Для ілюстрації можливості реалізації запропонованих рекомендацій розглянемо рішення задачі побудови релейного захисту для системи гарантованого електропостачання, яка містить у своєму складі розподільчий пристрій, який через вимикач мережного вводу приєднаний до державної електричної мережі, яка є основним джерелом живлення в цій

системі електропостачання. До розподільчого пристрою через інший вимикач підключена електрична машина змінного струму, приводом якої є резервний дизельний або бензиновий двигун, або парова чи газова турбіна. На валу резервного джерела живлення у складі електричної машини і привідного двигуна є інерційний маховик та роз'ємна муфта, яка з'єднує електричну машину та інерційний маховик з привідним двигуном. В випадку, коли напруга в державній електричній мережі є, електрична машина працює в режимі двигуна і приводить в рух інерційний маховик. В випадку, коли напруга в державній електричній мережі відсутня, електрична машина переходить в режим генератора, привід якого здійснюється від привідного двигуна, який приводить в рух вал електричної машини і забезпечує обертання маховика. Таким чином, в нормальному режимі роботи системи гарантованого електропостачання джерелом електричної енергії є державна електрична мережа, електрична машина працює в режимі двигуна й обертає інерційний маховик, роз'єднувальна муфта вимкнена, привідний двигун не працює. В разі відсутності напруги від державної електричної енергії джерелом енергії є електрична машина, привід якої здійснюється від привідного двигуна, роз'єднувальна муфта включена.

При зникненні напруги з державної електричної енергії електрична машина переходить з режиму двигуна в режим генератора і її привід здійснюється від інерційного маховика за рахунок зменшення накопиченої в маховику кінетичної енергії. Пристрій релейного захисту повинен забезпечити при цьому вимикання мережного вводу та вмикання роз'єднувальної муфти, що з'єднує вал електричної машини з валом привідного двигуна. Інерційний маховик забезпечує в якості стартера пуск привідного двигуна, який стає джерелом енергії.

Ознакою відсутності напруги в державній мережі є зміна напрямку потоку енергії між розподільчим пристроєм та електричною машиною. При наявності напруги в державній електричній мережі енергія подається від розподільчого пристрою до електричної машини. Але зміна напрямку потоку енергії буде мати місце й при короточасному зменненні частоти або напруги в державній електричній мережі, коли електрична машина працює як компенсатор та згладжує впливи збурень, що мають місце в мережі. Витримка часу при переході на живлення споживачів від мережі до власного джерела живлення необхідна для виключення випадків зайвих пусків привідного двигуна і тим самим від передбачених витрат його ресурсу. Затягування подачі команди на пуск резервного двигуна приводить до погіршення якості вироблюваної електричної енергії, оскільки кінетична енергія системи зменшується, частота падає і привідний двигун може бути неспроможним прийняти навантаження і вирівняти до необхідного рівня кутову частоту обертання.

Крім того, в разі зникнення напруги в державній електричній мережі в випадку короткого замикання, живлення точки короткого замикання припиняється з боку державної електричної енергії і про-

довжується від розподільчого пристрою, що, в свою чергу, приводить до подальшого зниження частоти. Ознакою несправності в державній електричній мережі є не тільки зміна напрямку потоку енергії й зміна кутової частоти  $\omega$ , а і зміна прискорення, тобто зміна похідної  $\frac{d\omega}{dt}$ . Для виключення випадків зайвих непередбачених запусків резервного двигуна необхідно забезпечити певну витримку часу на формування команди.

З врахуванням вищевикладеного, умова роботи пристрою релейного захисту описується наступним логічним рівнянням

$$Q_e = \left[ F_1(P_H) \vee F_2\left(\omega \wedge \frac{d\omega}{dt}\right) \right] \times 3_1, \quad (9)$$

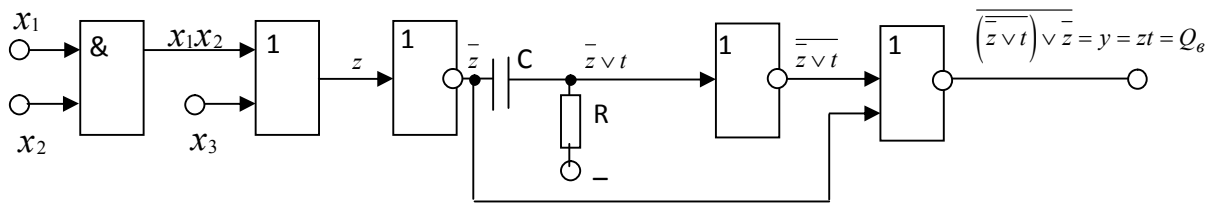


Рис. 3. Схема логічної частини пристрою релейного захисту системи гарантованого електропостачання

На рис. 3 прийняті такі позначення:

$x_1 = 1$  в випадку, коли вимірювач кутової частоти обертання підтверджує, що кутова частота обертання  $\omega$  в часі зменшується;

$x_2 = 1$  в випадку, коли вимірювач прискорення підтверджує, що прискорення  $\xi = \frac{d\omega}{dt}$  в часі зменшується;

$x_3 = 1$  в випадку, коли вимірювач напрямку активної потужності підтверджує, що напрям потоку енергії спрямований від електричної машини до шин розподільчого пристрою;

$$z = x_1 x_2 \vee x_3;$$

$$y = \overline{(\overline{z \vee t})} \vee \overline{z} = \overline{(z \cdot \overline{t})} \vee \overline{z} = (\overline{z \vee t}) \cdot z = zt = Q_e.$$

При отриманні останнього співвідношення використана теорема де Моргана.

В процесі створення пристрою технічної діагностики релейного захисту та автоматики доцільно вважати, що система релейного захисту та автоматики є об'єктом контролю, в якому здійснюється перетворення вхідних впливів (перетворення інформації) і який може приймати кінцеве число внутрішніх станів, тобто вважати, що об'єкт контролю може бути представлений моделлю кінцевого автомата [9, 10].

Таким чином, об'єкт контролю може бути заданий алфавітом вхідних впливів  $X(x_1, x_2, \dots, x_i)$ ,

де  $Q_e$  - сигнал на вимикання вводу від державної електричної мережі та на вмикання роз'єднувальної муфти;  $F_1$  - оператор, значення якого дорівнює одиниці, коли напрям потоку енергії змінився і є таким, що енергія поступає від електричної машини до розподільчого пристрою;  $F_2$  - оператор, значення якого дорівнює одиниці, коли одночасно зі зменшенням кутової частоти обертання  $\omega$  зменшується прискорення  $\xi = \frac{d\omega}{dt}$ ;  $3_1$  - оператор затримки у часі, який враховує вплив можливих випадкових збурень в державній електричній мережі.

На рис. 3 показана схема логічної частини пристрою релейного захисту розглядаємої системи гарантованого електропостачання.

алфавітом внутрішніх станів  $S(s_1, s_2, \dots, s_k)$  та алфавітом вихідних впливів  $Y(y_1, y_2, \dots, y_j)$ .

Входи, виходи та внутрішні стани можливо використовувати для визначення технічного стану об'єкта контролю. При визначенні умов роботи об'єкта контролю і опису структури дискретного автомата доцільно використовувати ті чи інші прийомі формалізації, які використовуються в математичній логіці [11–15], наприклад мову логічних схем алгоритмів [15].

Для побудови програми перевірки слід визначити всі можливі стани як справного об'єкта, так і об'єкта, працюючого при наявності несправності його елементів.

## Висновки

1. Використання часових булевих функцій та часових операторів при побудові пристроїв релейного захисту, автоматики та технічної діагностики дозволяє створити безконтактні пристрої, які дозволяють підвищити надійність роботи основного обладнання систем електропостачання військових об'єктів.

2. Використання при створенні нових та модернізації існуючих систем електропостачання комплексів озброєння і військової техніки наукових методів аналізу й синтезу систем та сучасного математичного апарата алгебри логіки дозволить удосконалити розробляємі зразки техніки, збільшити ресурс їх роботи, спростити структуру і вартість.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гаврилов М.А. Анализ релейно-контактных схем.–М.:Электричество. –1947, № 4, С. 5–13.
2. Гаврилов М.А. Теория релейно-контактных схем.–М.:Изд-во АН СССР,1950. – 331 с.
3. Глушков В.М.Синтез цифровых автоматов. Физматгиз, 1962. – 476с.

4. Гаврилов М.А., Девятков В.В., Пупырев Е.И. Логическое проектирование дискретных автоматов. –М.:Наука, 1977.– 352с.
5. Кононов Б.Т., Самойленко Б.Т., Кононов В.Б. Релейный захист та автоматика в системах електропостачання військових об'єктів. Підручник. МОУ. –Харків:ХУПС.2007. –384 с.
6. Дискретные устройства автоматизированных систем управления./ Под ред. Г. И. Тимолькина, В. С. Харченко. Учебник. – МО СССР.1990. – 445 с.
7. Беркович М.А., Семенов В.А. Основы автоматики энергосистем. – М.: Энергия. 1968. –432 с.
8. Теоретические основы построения логической части релейной защиты и автоматики энергосистем. Под ред. В.Е. Полякова. – М.:Энергия.1979. –240 с.
9. Электрические системы: Автоматизированные системы управления режимами энергосистем. Учебник для вузов/ В.А. Богданов, В.А. Веников, Я.Н. Лугинский, Г.А. Черня; Под ред. В. А. Веникова. -М.: Высш. школа, 1979. – 447 с.
10. Электрические системы. Электрические расчеты, программирование и оптимизация режимов. Под ред. В.А. Веникова. Учебн. пособие для электроэнерг. вузов. М.,”Высш. школа”, 1973. – 320 с., ил.
11. Электрические системы. Кибернетика электрических систем. Под ред. В.А. Веникова. Учебн. пособие для электроэнерг. вузов. М.,”Высш. школа”, 1974. – 328 с., ил.
12. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
13. Kuchuk G., Kovalenko A., Kharchenko V., Shamraev A., "Resource-oriented approaches to implementation of traffic control technologies in safety-critical I&C systems" in book: Green IT Engineering: Components Network and Systems Implementation, Springer International Publishing, vol. 105, pp. 313-338, 2017.
14. Amin Salih Mohammed (2018), "modification of load balancing method in networks with wimax technology", Qalaai Zanist Journal, Vol. 3, No. 2, pp. 791-802.
15. Элементы автоматических устройств: Учебник для вузов/ В.Л. Фабрикант, В.П. Глухов, Л.Б. Паперно, В.Я. Пугиниш. –М.: Высш. школа, 1981. – 400 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б. Г. Любарський,  
 Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків

Received (Надійшла) 17.11.2018  
 Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

#### **Использование временных булевых функций для построения усовершенствованных устройств релейной защиты, автоматического управления и диагностики оборудования систем электроснабжения**

Б. Т. Кононов, Ю. Д. Мусаирова, А. А. Матвиенко

Предлагается при создании новых и модернизации существующих систем электроснабжения комплексов вооружения и военной техники разрабатывать устройства релейной защиты, автоматики и технической диагностики основного оборудования этих систем использовать бесконтактные электрические аппараты, проектирование и разработка которых осуществляется с использованием математического аппарата алгебры логики, в котором предлагается брать за основу временные булевы функции. Дается определение временных булевых функций и временных операторов. Приводятся основные булевы функции и примеры реализации временных булевых функций и операторов задержки. Рассматривается пример разработки логической части релейной защиты системы гарантированного питания, в которой накопителем энергии является инерционный маховик, а преобразователем энергии является синхронная электрическая машина, которая в зависимости от состояния внешнего ввода работает в режиме синхронного электрического двигателя или в режиме синхронного генератора. Приводится схема логической части устройства релейной защиты этой системы.

**Ключевые слова:** временные булевы функции, временные операторы задержки, устройства релейной защиты, автоматики и технической диагностики.

#### **Use of temporary boolean functions for creation of advanced devices of relay protection, automatic control and diagnostics of the equipment of power supply systems**

B. Kononov, Yu. Musairova, A. Matviienko

Development of military power causes need of increase in technological level of the capital equipment of power supply systems of military facilities, increases in reliability of devices of relay protection, automatic equipment and technical diagnostics, a solution of the problem of complex automation of control of actually military power supply system in normal, emergency and postemergency operation. In article it is offered during creation new and modernizations of the existing power supply systems of complexes of arms and military equipment to develop devices of relay protection, automatic equipment and technical diagnostics of the capital equipment of these systems to use contactless electric devices which design and development is carried out with use of a mathematical apparatus of algebra of logic in which it is offered to take temporary Boolean functions as a basis. Definition of temporary Boolean functions and temporary operators is given. Devices of relay protection, automatic equipment and technical diagnostics work in terms of use of various time lags and therefore the description their robots and synthesis of logical structure of these devices needs to be carried out with use of temporary Boolean functions and temporary operators. Therefore the main Boolean functions and examples of realization of temporary Boolean functions and operators of a delay are given in this article. An example of development of a logical part of relay protection of a system of uninterruptible power supply in which the store of energy is the inertial flywheel is reviewed, and the converter of energy is the synchronous electrical machine which depending on a condition of external input works in the mode of the synchronous electric motor, or in the mode of the synchronous generator. The scheme of a logical part of the device of relay protection of this system is provided.

**Keywords:** temporary Boolean functions, temporary operators of a delay, device of relay protection, automatic equipment and technical diagnostics.

І. М. Коржов, П. Ф. Щапов, Р. П. Мигущенко, О. Ю. Кропачек

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

## ОЦІНКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ, ДИСКРИМІНУЮЧИХ ТА ДІАГНОСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКАЗНИКІВ АВТОКОГЕРЕНТНОСТІ

Проведена оцінка чутливості кореляційно-спектральної моделі показника автокогерентності багатовимірного термодинамічного процесу, оцінка дискримінуючих властивостей показників автокогерентності при класифікації вібраційних процесів, досліджено діагностичні властивості складових показника автокогерентності на прикладі теплових та вібросигналів реального промислового об'єкту контролю та діагностування. На прикладі теплових динамічних процесів показана ефективність розробленого показника автокогерентності  $\rho_W$  для задач контролю динамічних властивостей інерційних багатовимірних промислових об'єктів. Також показана можливість автоматичної корекції похибки вимірювання температури якщо контролювати весь тепловий процес, а не його окремі значення. На прикладі вібросигналів показана можливість якісної класифікації технічних станів, а також кількісної класифікації окремих частотно-часових складових показника автокогерентності  $\rho_W$ . Доведено, що найкращими діагностичними властивостями характеризуються випадкові (шумові) складові показника автокогерентності  $\rho_W$ .

**Ключові слова:** діагностика, контроль, авто когерентність показники автокогерентності, чутливість діагностування, дискримінуючі властивості.

### Постановка задачі

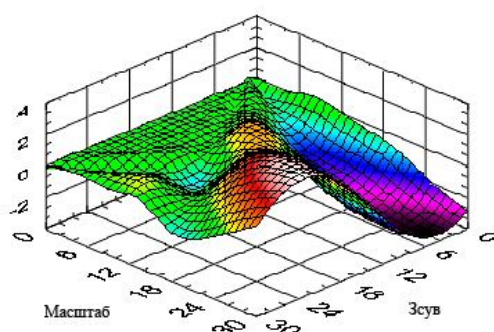
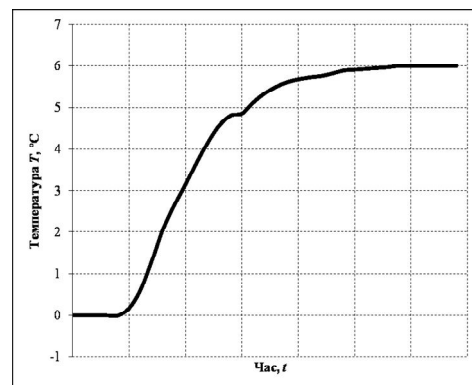
**Мета статті** – оцінка та дослідження чутливості, дискримінуючих та діагностичних властивостей показників автокогерентності на прикладі теплових та вібросигналів реального промислового об'єкту контролю та діагностування.

### 1. Оцінка чутливості кореляційно-спектральної моделі показника автокогерентності багатовимірного термодинамічного процесу

Обраний для дослідження об'єкт є типовим промисловим агрегатом, який використовується на виробництві. Для подібних промислових об'єктів є характерними два види процесів – регулярні низькочастотні, та періодичні високочастотні. Кожний процес характерний для конкретного вузла агрегату, проте може бути описаним за допомогою моделей одного типу. Розроблені моделі для здійснення контролю (діагностування) необхідно перевірити на адекватність. Для регулярних низькочастотних процесів здійснюємо оцінку чутливості кореляційно-спектральної моделі показника автокогерентності. Така оцінка проведена для повної моделі показника  $\rho_W$  автокогерентності, осередненого одночасно за частотою та часом спостереження термодинамічного процесу.

Показник  $\rho_W$  визначався одночасно для восьми термодинамічних процесів, що характеризують перехідні режими розігріву зон прес-екструдера за однаковий час спостереження  $t < t_n$ , де  $t_n$  – номінальний час розігріву, за який температури зон прес-екструдера досягають нормативних значень ( $t_{n1}, \dots, t_{n8}$ ). Кожен з восьми термодинамічних процесів розігріву визначався на трьох інтервалах часу:  $t_0 = 0.8 t_n$  ( $j$  – номер зони прес-екструдера або номер процесу зміни його температури). Одночасно з оцінкою показника  $\rho_{Wj}$  фіксувалася миттєві значення температури  $T_j$  ( $j = 1 \dots 8$ ). На рис. 1 наведено зображення процесу розігріву  $T_3$  (а) та його вейвлет-перетворення (б) (номінальної температури 6.00 °C). Для прецен-

зійного вимірювання температур використовувалися цифрові вимірювачі з платиновими перетворювачами типу ПТСВ, що були під'єднанні до вимірального приладу за чотирьохпровідною схемою [1].



**Рис. 1.** Процес розігріву зони прес-екструдера  $T_3$  (а) та його вейвлет-перетворення (б) (номінальної температури 6.00 °C)

Важливим питанням при контролі чи діагностуванні стану об'єктів є визначення домінуючих параметрів, за якими безпосередньо здійснюються вказані процедури. В даному випадку, визначається домінант з двох складових – функціональної складової вейвлет-коефіцієнтів та випадкової (шумової)

складової вейвлет-коефіцієнтів. Вейвлет-аналіз спроможний виділити кожну складову.

Для визначення домінуючих параметрів при контролі чи діагностуванні на обраному для досліджень об'єкті був виконаний відповідний експеримент з фіксацією термодинамічних процесів.

В табл. 1 і 2 представлені результати оцінки відповідно функціональної складової вейвлет-коефіцієнтів (характеризує математичне сподівання вейвлет-коефіцієнтів) та випадкової складової вейвлет-коефіцієнтів (характеризує дисперсію вейвлет-коефіцієнтів) спектрального вейвлет-перетворення за періоди часу  $t_n/3$ ;  $2t_n/3$ ;  $0.8t_n$ ;  $0.9t_n$ ;  $t_n$ . На рис. 2 продемонстровані оцінки функціональної складової вейв-

лет-коефіцієнтів (а) та оцінки випадкової складової вейвлет-коефіцієнтів термодинамічних процесів  $T_2$  та  $T_3$  з нормативними температурами відповідно  $4,9^\circ\text{C}$  та  $6^\circ\text{C}$  за масштабами та зсувами. В табл. 3 представлені результати вимірювання температур  $T_j$  і оцінки показника автокогерентності  $\rho_{wj}$  для трьох інтервалів  $\Delta t_i$  ( $i = 1 \dots 3$ ) часу спостереження:

$$\Delta t_1 \in (0; t_n/3); \Delta t_2 \in (0; 2t_n/3); \Delta t_3 \in (0; 0.8t_n). \quad (1)$$

В заголовку наведених таблиць вказані нормативні значення температур, до яких спрямовані перехідні термодинамічні процеси  $T_1(t), \dots, T_8(t)$  при  $t \rightarrow \infty$ .

Таблиця 1 – Результати оцінки функціональної складової вейвлет-коефіцієнтів процесів розігріву зон прес-екструдера

		$T_1$ , до 0.89 °C	$T_2$ , до 4.90 °C	$T_3$ , до 6.00 °C	$T_4$ , до 6.35 °C	$T_5$ , до 6.95 °C	$T_6$ , до 44.64 °C	$T_7$ , до 45.21 °C	$T_8$ , до 64.22 °C
За масштабом	$t_n/3$	0.99029	-0.95823	-0.98997	-0.99750	-0.99654	-0.99778	-0.99594	-0.99746
	$2t_n/3$	0.96203	-0.99004	-0.99162	-0.99434	-0.98922	-0.99542	-0.98829	-0.97633
	$0.8t_n$	0.93730	-0.97747	-0.97649	-0.97889	-0.97322	-0.97559	-0.97116	-0.96180
	$0.9t_n$	0.88909	-0.95019	-0.93984	-0.95043	-0.93735	-0.94476	-0.94971	-0.94224
	$t_n$	0.84132	-0.89600	-0.87840	-0.91196	-0.89051	-0.91783	-0.93483	-0.92556
За зсувом	$t_n/3$	0.79979	-0.51917	-0.65501	-0.63786	-0.83558	-0.79002	-0.88952	-0.90569
	$2t_n/3$	0.74224	-0.86226	-0.87889	-0.86230	-0.89756	-0.86555	-0.89478	-0.89292
	$0.8t_n$	0.48012	-0.75243	-0.79422	-0.75020	-0.84043	-0.76562	-0.83376	-0.85254
	$0.9t_n$	0.77128	-0.6497	-0.72398	-0.64613	-0.79791	-0.68332	-0.78384	-0.82476
	$t_n$	0.86285	-0.58268	-0.68244	-0.58091	-0.77551	-0.63490	-0.75443	-0.81131

Таблиця 2 – Результати оцінки випадкової складової вейвлет-коефіцієнтів процесів розігріву зон прес-екструдера

		$T_1$ , до 0.89 °C	$T_2$ , до до 4.90 °C	$T_3$ , до 6.00 °C	$T_4$ , до 6.35 °C	$T_5$ , до 6.95 °C	$T_6$ , до 44.64 °C	$T_7$ , до 45.21 °C	$T_8$ , до 64.22 °C
За масштабом	$t_n/3$	0.948392	0.9827	0.990534	0.994543	0.996999	0.999226	0.998618	0.999426
	$2t_n/3$	0.936088	0.882784	0.914024	0.895846	0.945568	0.917965	0.951598	0.947412
	$0.8t_n$	0.776027	0.622484	0.659852	0.654895	0.714314	0.684147	0.751091	0.73842
	$0.9t_n$	0.632493	0.385449	0.434947	0.420383	0.504346	0.450934	0.526002	0.535093
	$t_n$	0.527761	0.184178	0.248168	0.211168	0.33262	0.241651	0.327502	0.365807
За зсувом	$t_n/3$	0.959451	-0.14531	-0.10587	-0.17015	0.262884	0.309321	0.789252	0.885281
	$2t_n/3$	0.187175	-0.57552	-0.59922	-0.69047	-0.59123	-0.50482	-0.18407	-0.07328
	$0.8t_n$	0.119508	-0.6239	-0.64611	-0.74544	-0.69456	-0.62969	-0.43302	-0.37285
	$0.9t_n$	0.14609	-0.61118	-0.63774	-0.73956	-0.59180	-0.59182	-0.31147	-0.19700
	$t_n$	0.185628	-0.49825	-0.42040	-0.55274	-0.20140	-0.32444	0.003282	0.129439

Таблиця 3 – Значення температур та показників автокогерентності  $\rho_{wj}$  для обмежених інтервалів спостереження

Інтервал спостереження	Показник, що контролюється	Значення нормативно граничних температур (°C) для часу $t_n$							
		$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$	$T_7$	$T_8$
		0.89	4.90	6.00	6.35	6.95	44.64	45.21	64.22
$t_n/3$	Температура ( $T_j$ ) в кінці інтервалу спостереження (°C)	0.09	1.71	2.66	2.99	4.22	26.01	31.54	47.08
$2t_n/3$		0.45	4.36	<b>5.62</b>	<b>5.57</b>	6.71	41.03	42.43	63.06
$0.8t_n$		0.56	4.66	5.82	6.08	6.89	43.41	44.12	64.02
$1/3 t_n$	Показник автокогерентності на інтервалі спостереження ( $\rho_{wj}$ )	0.376	0.403	0.518	0.684	0.612	0.723	0.835	0.862
$t_n/3$		-0.259	-0.174	<b>-0.175</b>	<b>-0.148</b>	-0.051	0.054	0.305	0.369
$0.8t_n$		-0.258	0.071	0.089	0.153	0.173	0.250	0.371	0.476

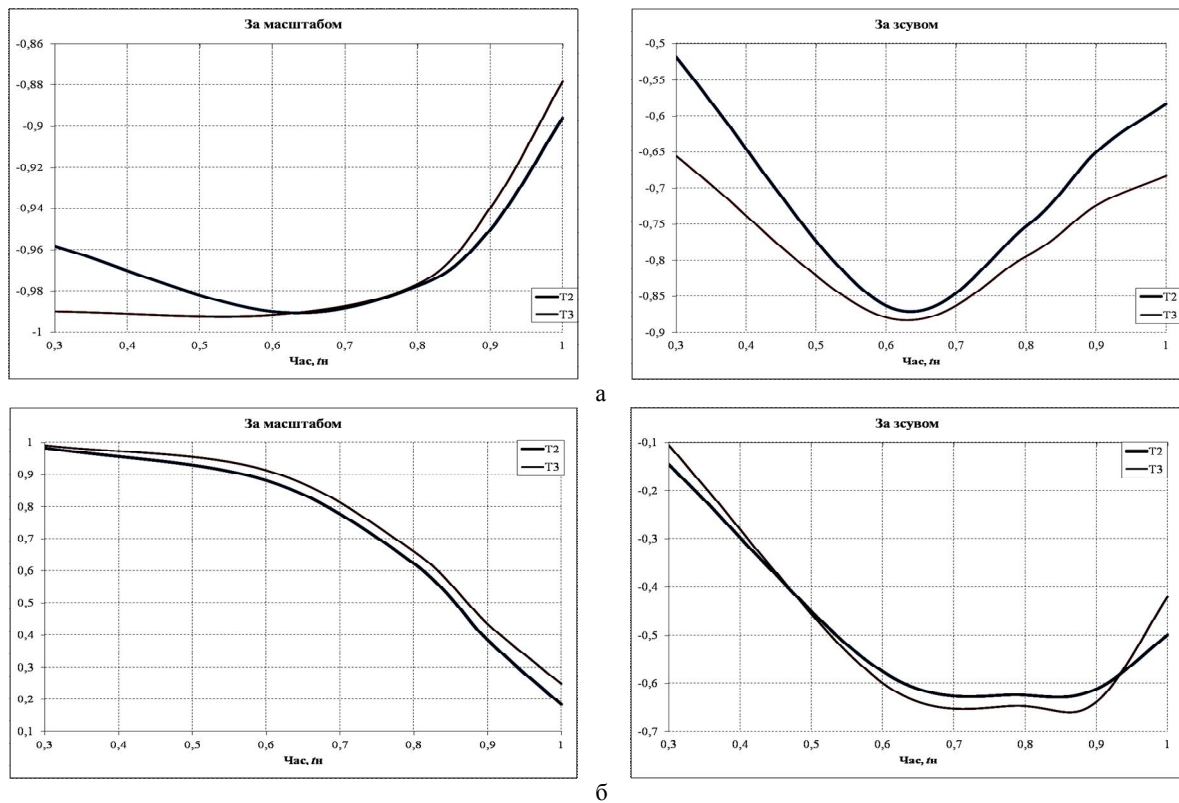


Рис. 2. Оцінки функціональної (а) та випадкової (б) складової вейвлет-коефіцієнтів термодинамічних процесів  $T_2$  та  $T_3$  з нормативними температурами відповідно  $4.9\text{ }^\circ\text{C}$  та  $6\text{ }^\circ\text{C}$  за масштабами та зсувами

В табл. 3 контрольовані значення показників (температура і показник автокогерентності) розміщені в порядку збільшення нормативно граничних температур. Не важко помітити порушення ранжування для  $T_j$  та  $\rho_{Wj}$ , що відповідають стовпчикам процесів  $T_3$  (нормативне значення температури  $6\text{ }^\circ\text{C}$ ) та  $T_4$  (нормативне значення температури  $6.35\text{ }^\circ\text{C}$ ). Для зручності аналізу взяті відповідні значення показників контролю автокогерентності  $\rho_W$ , які реагують на відхилення температур (при термодинамічних порушеннях) менше ніж на  $0.05\text{ }^\circ\text{C}$ . Ці відхилення відповідають абсолютним середньоквадратичним похибкам в  $0.1\text{ }^\circ\text{C}$  при довірчій ймовірності  $P = 0.95$ . Така похибка забезпечується термперетворювачами, що мають умовно клас точності (граничну зведену похибку) не нижче 0.1, при  $T = 100\text{ }^\circ\text{C}$ . Оскільки порушення ранжування температур  $T_3$  та  $T_4$  відповідає умові:

$$\delta T_{34} = T_3 - T_4 \geq 0.05, \quad (2)$$

то контроль цих температур по показникам автокогерентності  $\rho_{W3}$  та  $\rho_{W4}$  забезпечує зменшення абсолютної похибки з величини  $0.1\text{ }^\circ\text{C}$  до  $0.05\text{ }^\circ\text{C}$ , що у два рази підвищує точність вимірювального контролю термодинамічних процесів.

## 2. Оцінка дискримінуючих властивостей показників автокогерентності при класифікації вібраційних процесів

Збереження заданого ранжування для множини показників автокогерентності  $\rho_W$  вказує на можли-

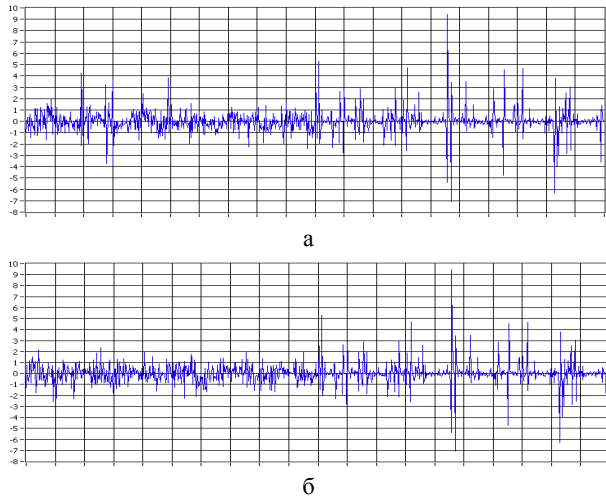
вість використання цих показників для прогнозування граничних теплових режимів, з автоматичною корекцією температурних похибок приладів, що застосовуються при вимірюванні температури. Якщо переходити від задачі контролю динамічних властивостей до задачі розрізнення (дискримінації) технічних станів то слід використовувати об'єкт, для якого попередньо верифіковані види цих технічних станів. Більш того невизначеність миттєвих значень такого вимірювального сигналу повинна бути достатньо великою для будь-якого з досліджуваних технічних станів. В цьому сенсі найбільш зручні для дослідження є вібросигнали.

Для дослідження були використані вібросигнали, що були отримані за допомогою п'єзоелектричного вимірювального перетворювача механічної вібрації [2], який був встановлений на корпусі пари редуктор-подвоювач обраного технологічного агрегату – прес-екструдеру. Зміна вологості вхідної сировини, особливо якщо вона не відповідає нормованому значенню, зумовлює додаткові механічні навантаження в системі шнеків та редукційних механізмів. Окрім того, зниження вологості призводить до посилення ефектів спектральної нестаціонарності вібросигналів, через підвищення динамічних механічних зусиль рухомих елементів промислового об'єкту. Для дослідження були використанні три варіанти вологості вхідної сировини:

- 1)  $8.5\%$  – нормоване значення,
- 2)  $8.0\%$  – підсушена сировина,
- 3)  $7.5\%$  – значно підсушена сировина.

На рис. 3 представлені реалізації вібросигналів для варіантів 1 та 3 вологості вхідної сировини.



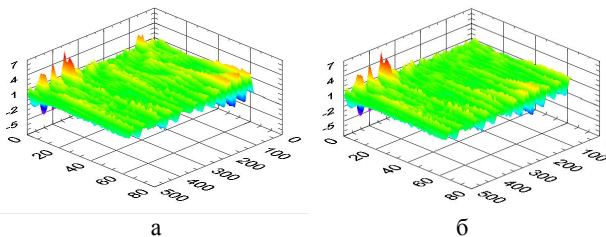


**Рис. 3.** Реалізації вібро сигналів для варіантів: 1 – вологість вхідної сировини 8.5 % – нормоване значення (а) та 3 – вологість вхідної сировини 7.5 % – значно підсушена сировина (б)

Складові показника автокогерентності  $\rho_W$  позначено як  $X$  з двома індексами:

- $X_{11}$  – функціональна за масштабом,
- $X_{12}$  – випадкова за зсувом,
- $X_{21}$  – функціональна за зсувом,
- $X_{22}$  – випадкова за масштабом,
- $X_{\Sigma}$  – сумарний показник автокогерентності.

Вейвлет-спектри реалізацій вібро сигналів (рис. 3) представлені на рис. 4.

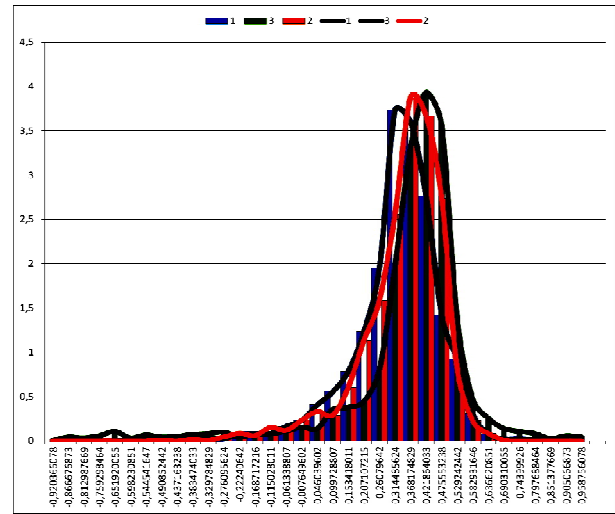


**Рис. 4.** Вейвлет-спектри реалізації вібро сигналів для варіантів: 1 – вологість вхідної сировини 8.5 % – нормоване значення (а) та 3 – вологість вхідної сировини 7.5 % – значно підсушена сировина

Рис. 3 та 4 практично не несуть візуальної інформації про різницю спектральних властивостей вібро сигналів для 1) та 3) варіантів. Для визначення можливостей класифікаційного розрізнення вібро сигналів, що належать об'єкту з різними технічними станами (нормативно заданими вологістю вхідної сировини), було проведено дисперсійний аналіз частотної та часової моделі автокогерентності з розкладенням коефіцієнту автокогерентності  $\rho_W$  на параметри нестационарності. На рис. 5 представлені гістограми законів розподілення складових випадкових складових вейвлет-коефіцієнтів трьох варіантів вологості вхідної сировини за зсувом.

Число класифікаційних станів дорівнює трьом (для трьох варіантів вологості вхідної сировини), кількість відліків кожного з вібро сигналів для досліджуваних технічних станів – 2500, кількість сто-

впиків гістограм для кожного з трьох технічних станів – 35. Рис. 5 наглядно ілюструє принципову можливість статистичного розрізнення (класифікації) вібро сигналів по зсуву їх законів розподілення ймовірності (гістограм).



**Рис. 5.** Гістограми законів розподілення складових випадкових складових вейвлет-коефіцієнтів трьох варіантів вологості вхідної сировини за зсувом ( $X_{12}$ )

В табл. 4 представлені оцінки середніх значень і середньоквадратичних відхилень для 4-х складових показника автокогерентності  $\rho_W$  і, власне, сумарного показника автокогерентності  $\rho_W(X_{\Sigma})$  для класифікованих станів.

**Таблиця 4 – Оцінки середніх значень і середньоквадратичних відхилень для складових показника автокогерентності  $\rho_W$**

№	$X_{11}$		$X_{12}$	
	Среднее	СКО	Среднее	СКО
1)	6.30572E-06	1.63138E-05	0.18719827	0.03956054
2)	-5.80514E-06	2.31989E-05	0.18877861	0.02802178
3)	4.14687E-07	7.3778E-06	0.27819637	0.02730635
№	$X_{21}$		$X_{22}$	
	Среднее	СКО	Среднее	СКО
1)	0.0119951	0.009207	0.175209	0.031107
2)	0.00861176	0.007233	0.180161	0.024038
3)	0.01496753	0.001708	0.263229	0.028013
№	$X_{\Sigma}$			
	Среднее	СКО		
1)	0.187205	0.039559		
2)	0.188773	0.028031		
3)	0.278197	0.027312		

Результати, що представлені в табл. 4 дають можливість оцінити статистичну відстань між технічними станами у формі  $T^2$  статистики Хотелінга [3]. Значення статистичної відстані  $T^2$ -Хотелінга за варіантами парних станів представлені в табл. 5. Табл. 5 дозволяє оцінити лінійну статистичну відстань  $S_D$  між класифікованими станами виходячи з моделі спрощеного перетворення

$$S_D = \sqrt{T^2} \quad (3)$$

В табл. 6 представлені значення статистичної відстані  $S_D$  і розраховані, з використанням цих відстаней, вірогідності  $P_D$  діагностування.

$$P_D = \Phi\left(\frac{S_D}{2}\right), \quad (4)$$

де  $\Phi(\bullet)$  – інтеграл ймовірності [4].

З табл. 6 видно, що максимальне значення вірогідності  $P_D$  відповідає складовим  $X_{12}$  – випадкова за зсувом,  $X_{22}$  – випадкова за масштабом і, власне, сумарному показнику автокогерентності  $\rho_{W(X_\Sigma)}$ .

Таблиця 5 – Значення статистичної відстані  $T^2$ -Хотелінга за варіантами класифікації парних станів

Номер станів класифікації	Складові показника автокогерентності $\rho_W$				
	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_\Sigma$
1)-2)	0.36470878	0.002125278	0.167005552	0.031734411	0.002091866
2)-3)	0.130559851	10.44583041	1.462727277	10.12847136	10.4416585
1)-3)	0.216514664	7.167309207	0.201521993	8.842315726	7.165769186

Таблиця 6 – Значення статистичної відстані  $S_D$  і вірогідність  $P_D$  альтернативного діагностування

Номер станів класифікації		Складові показника автокогерентності $\rho_W$				
		$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_\Sigma$
1)-2)	$S_D$	0.603911235	0.04610074	0.408663127	0.178141547	0.045736922
	$P_D$	0.6255	0.508	0.5793	0.5359	0.508
2)-3)	$S_D$	0.361330668	3,232000991	1.209432626	3.18252594	3.23135552
	$P_D$	0.5714	<b>0.94738</b>	0.7257	<b>0.94408</b>	<b>0.94738</b>
1)-3)	$S_D$	0.465311363	2.677183073	0.44891201	2.973603155	2.676895438
	$P_D$	0.591	0.90988	0.5871	0.93056	0.90988

### 3. Дослідження діагностичних властивостей складових показника автокогерентності. Вибір показників контролю нестационарності

Отримані в попередньому підрозділі оцінки вірогідності парної класифікації діагностованих технічних станів (табл. 6), мають достатньо велике зміщення. Це зумовлено практичною невідповідністю ймовірнісної моделі закону розподілення значень відповідної складової показника автокогерентності  $\rho_W$  нормальному розподіленню імовірності. На це вказує і гістограма умовних законів розподілення складової  $X_{12}$  для трьох технічних станів. Хоча, з іншого боку, наведені гістограми добре ілюструють значущі розходження між модами і відтак центрами умовних розподілень технічних станів 1)–3) (рис. 5).

Фактично, через локалізації значень складових показника автокогерентності  $\rho_W$  [-1; 1] умовні закони розподілення їх значень відповідають моделям сплайнів [5] високого порядку (не менше п'ятого), в той час як нормально розподілені випадкові величини  $\in [-\infty; \infty]$ . Виходячи зі сказаного, оцінки вірогідності табл. 6 вказують на якісну (по варіанту «маленькі-великі») різницю між складовими показника автокогерентності  $\rho_W$ . Для більш строгого, в статистичному сенсі, дослідження класифікаційних властивостей складових показника автокогерентності  $\rho_W$  можливо застосувати математичний апарат класичного дисперсійного статистичного аналізу. Перевагою такого математичного апарату є:

- об'єктивність статистичних висновків, про відсутність або наявність класифікаційних властивостей при зміні виду технічних станів об'єкту контролю,

- можливість забезпечення заданого значення ризику класифікації (рівня значущості),

- можливість отримання оцінок кількості інформації при класифікації не тільки парних порівнюваних технічних станів, але і станів об'єднаних в нормативно задані множини (наприклад, виходячи з технічних умов і вимог [6]).

Використовуючи підгрупові результати оцінювання складових показника автокогерентності  $\rho_W$ , була отримана зведена табл. 7 середніх значень складових показника автокогерентності  $\rho_W$  за кожною з п'яти груп для технічних станів 1), 2), 3). Для дослідження результатів, зведених в табл. 7, використаємо однофакторну параметричну модель дисперсійного аналізу [4], в якій впливаючим фактором «ВФ» є технічний стан об'єкту контролю.

Таблиця 7 – Середні значення складових показника автокогерентності  $\rho_W$  за кожною з п'яти підгруп для технічних станів 1), 2), 3)

ТС	№	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_\Sigma$
1)	1	-1.201E-06	0.18787	0.01411	0.17376	0.18787
	2	2.69921E-05	0.13338	0.00305	0.13036	0.13341
	3	-1.62344E-05	0.16719	0.00261	0.16457	0.16718
	4	1.47554E-05	0.23577	0.02429	0.21149	0.23578
	5	7.21647E-06	0.21178	0.01592	0.19587	0.21179
2)	1	-1.67254E-05	0.20255	0.0084	0.19414	0.20254
	2	-1.6343E-05	0.14001	0.00027	0.13972	0.13999
	3	3.18601E-05	0.21091	0.01287	0.19807	0.21094
	4	-2.7555E-05	0.1956	0.00327	0.1923	0.19557
	5	-2.62362E-07	0.19482	0.01825	0.17658	0.19482
3)	1	1.31124E-05	0.30719	0.01208	0.29512	0.30721
	2	-8.36627E-07	0.2658	0.01585	0.24995	0.2658
	3	-6.62393E-07	0.30629	0.01645	0.28984	0.30629
	4	-4.83666E-06	0.24584	0.01558	0.23026	0.24584
	5	-4.70327E-06	0.26585	0.01488	0.25097	0.26585

Моделлю результату спостереження значень обраної складової показника автокогерентності  $\rho_W$

(позначимо як  $Z$ ), буде вираз:

$$z_{ji} = \bar{Z} + \delta_j + \varepsilon_{ji}, \quad (5)$$

де  $z_{ij}$  – реалізація випадкової величини  $Z$ ,  $j$  – індекс що вказує на номер технічного стану,  $i$  – номер підгрупи, що відповідає конкретному рядку табл. 7 для групи з номером  $j$ ,  $\bar{Z}$  – загальне середнє всіх результатів спостережень,  $\delta_j$  – відхилення  $z_{ji}$  від  $\bar{Z}$ , що обумовлені впливом фактором «ВФ»,  $\varepsilon_{ji}$  – остаточне випадкове відхилення результатів  $z_{ji}$  від  $\bar{Z}$  [4].

Остаточна дисперсія  $z_{ij}$  – постійна, а закон розподілення відхилень  $z_{ij}$  – нормальний. Дисперсійний аналіз будемо проводити окремо для кожної складової показника автокогерентності  $\rho_W$ , формуючи для цієї складової показника автокогерентності  $\rho_W$  табл. 8, що включає в себе три строки (по виду технічного стану) і п'ять стовпчиків (по номеру підгрупи).

Таблиця 8 – Модель для дисперсійного аналізу

j	i				
	1	2	3	4	5
1	$z_{11}$	$z_{12}$	$z_{13}$	$z_{14}$	$z_{15}$
2	$z_{21}$	$z_{22}$	$z_{23}$	$z_{24}$	$z_{25}$
3	$z_{31}$	$z_{32}$	$z_{33}$	$z_{34}$	$z_{35}$

В табл. 8 номери рівнів «ВФ» відповідають номерам строк  $j$ . Для формування строк були використані п'ять внутрішньо групових значень (по вертикалі) для 1, 2, 3 груп, яким відповідають строки: 1 група – з першої по п'яту, 2 група – з шостої по десяту, 3 група – з одинадятої по п'ятнадцяту.

Отримані  $F$ -статистики Фішера для дисперсійного аналізу класифікаційних властивостей складових показника автокогерентності  $\rho_W$  представлені в табл. 9. Проведений дисперсійний аналіз дозволяє перевірити основну гіпотезу  $H_0: \delta_i = 0$ . Критичне

Таблиця 10 – Кореляційна матриця

	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{21}$	$X_{22}$	$X_{\Sigma}$
$X_{11}$	1.000000000	0.117131872	0.379338687	0.073957477	0.117437781
$X_{12}$	0.117131872	1.000000000	0.626352736	0.994049080	0.999999953
$X_{21}$	0.379338687	0.626352736	1.000000000	0.537707993	0.626447610
$X_{22}$	0.073957477	0.994049080	0.537707993	1.000000000	0.994035858
$X_{\Sigma}$	0.117437781	0.999999953	0.626447610	0.994035858	1.000000000

Будь-яка  $F$ -статистика однофакторного дисперсійного аналізу пов'язана з квадратом коефіцієнту парної кореляції рівнянням [9]:

$$F_{1,n-2} = \frac{R^2}{1-R^2}(n-2), \quad (6)$$

де  $n = 15$  (число строк таблиці 7).

З рівняння (6) випливає, що гіпотеза  $H_0$  не відкидається (складові показника автокогерентності  $\rho_W$  не корельовані між собою – інформація незалежна) якщо парна кореляція менше або дорівнює критичному значенню:

значення  $F$  відповідає умовам: значення чисел ступенів свободи дорівнює 2 і 12, рівень значущості (ризик контролю першого роду)  $\alpha = 0.05$ .

З табл. 9 слідує, що найкращими класифікаційними (діагностичними) властивостями [7] володіють складові  $X_{22}$ ,  $X_{12}$  показника автокогерентності  $\rho_W$ . Оскільки їх  $F$ -статистики перевищують критичне значення  $F$  більше ніж в три рази ( $15.7414 > 3.885294$ ;  $13.14539 > 3.885294$ ).

Таблиця 9 –  $F$ -статистики Фішера для дисперсійного аналізу класифікаційних властивостей складових показника автокогерентності  $\rho_W$

Складові показника автокогерентності $\rho_W$	$F$ -статистики Фішера	$F$ критичне для числа ступенів свободи 2 і 12
$X_{11}$	0.640643	3.885294
$X_{12}$	13.14539	
$X_{21}$	1.083555	
$X_{22}$	15.7414	
$X_{\Sigma}$	13.14234	

Такою ж перевагою володіє і власне показник автокогерентності  $\rho_{W(X_{\Sigma})}$  ( $13.14234 > 3.885294$ ).

Оскільки дані складові показника автокогерентності  $\rho_W$  характеризують випадкові (шумові) зміни спектру, це вказує, що основною моделлю нестационарності вимірювальних випадкових вібраційних сигналів є модель спектральної нестационарності за випадковими (шумовими) залишковими змінами вейвлет-спектру [8]. Функціональна змінність вейвлет-спектрів інформацію про зміну технічних станів не несе. Для дослідження інформативної незалежності складових  $X_{11}$ ,  $X_{12}$ ,  $X_{21}$ ,  $X_{22}$ ,  $\rho_{W(X_{\Sigma})}$  була розрахована кореляційна матриця (табл. 10) на базі табл. 7.

$$R_{кр} = \sqrt{F_{кр} / (n + F_{кр} - 2)} = 0.4797. \quad (7)$$

В іншому випадку гіпотеза  $H_0$  відкидається (складові показника автокогерентності  $\rho_W$  корельовані між собою – інформація залежна).

З аналізу кореляційної матриці (табл. 10) найбільш інформативні є складові  $X_{12}$  та  $X_{22}$  показника автокогерентності  $\rho_W$ . Складову  $X_{22}$  показника автокогерентності  $\rho_W$  можна застосовувати тільки однією, т.я. вона сильно корельована з іншими складовими показника автокогерентності  $\rho_W$ .

## ВИСНОВКИ

На прикладі теплових динамічних процесах показана ефективність розробленого показника автокогерентності  $\rho_W$  для задач контролю динамічних властивостей інерційних багатомірних промислових об'єктів. Також показана можливість автоматичної корекції похибки вимірювання температури якщо контролювати весь тепловий процес, а не його окремі значення (табл. 3).

На прикладі вібросигналів показана можливість якісної класифікації (рис. 5) технічних станів, а також кількісної класифікації окремих частотно-часових складових показника автокогерентності  $\rho_W$  (табл. 6). Доведено, що найкращими діагностичними властивостями характеризуються випадкові (шумові) складові показника автокогерентності  $\rho_W$  (табл. 6 і 9).

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Термоперетворювачі опору. Загальні технічні вимоги і методи випробування: ДСТУ 2858:2015. – [Чинний від 2017-07-01]. - К. : Держстандарт України 2017. - 21 с. – (Національний стандарт України)
2. Патент № 116115 України, G01H 1/16 П'єзоелектричний вимірювальний перетворювач механічної вібрації / Сокол Є.І., Щапов П.Ф., Мигущенко Р.П., Бойко В.В., Замятін П.М., Кропачек О.Ю., Замятін Д.П., Коржов І.М. – Заявл. 11.11.16; Опубл. 10.05.17, Бюл. № 9.
3. Захожай В.Б. Статистика якості / В.Б. Захожай, А.Ю. Чорний. – К.: МАУП, 2005. – 576 с.
4. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф.Лион; пер. з англ. під ред. Е. К. Лецького. – М.: Мир, 1981. – 520 с.
5. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. — М.: Мир, 2001. — 604 с.
6. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення: ДСТУ 2389-94. – [Чинний від 1995-01-01]. - К.: Держстандарт України 1994. - 24 с. – (Національний стандарт України).
7. Коржов І. М. Дослідження кореляційних моделей спектральної нестационарності випадкових сигналів / П. Ф. Щапов, Р. П. Мигущенко, О. Ю. Кропачек, І. М. Коржов // Метрологія та прилади. – 2018. – №5 (73). – С. 11 – 14.
8. Коржов І. М. Аналіз моделей функції когерентності спектральної нестационарності випадкових сигналів / І.М. Коржов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ», 2018. – № 46 (1322). – С. 30 – 34.
9. Щапов П.Ф. Методи підвищення вірогідності контролю та діагностики стохастичних параметрів об'єктів різної фізичної природи: дис. докт. техн. наук: 05.11.13 / Щапов Павло Федорович. – Харків, 2009. – 368 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. О. Можаяв,  
Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків  
Received (Надійшла) 28.11.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.01.2019

## Оценка и исследование чувствительности, дискриминирующих и диагностических свойств показателей автокогерентности

И. М. Коржов, П. Ф. Щапов, Р. П. Мигущенко, О. Ю. Кропачек

Проведена оценка чувствительности корреляционно-спектральной модели показателя автокогерентности многомерного термодинамического процесса, оценка дискриминирующих свойств показателей автокогерентности при классификации вибрации, исследовано диагностические свойства составляющих показателя автокогерентности на примере тепловых и вибросигналов реального промышленного объекта контроля и диагностирования. На примере тепловых динамических процессах показана эффективность разработанного показателя автокогерентности  $\rho_W$  для задач контроля динамических свойств инерционных многомерных промышленных объектов. Также показана возможность автоматической коррекции погрешности измерения температуры если контролировать весь тепловой процесс, а не его отдельные значения. На примере вибросигналов показана возможность качественной классификации технических состояний, а также количественной классификации отдельных частотно-временных составляющих показателя автокогерентности  $\rho_W$ . Доказано, что лучшими диагностическими свойствами характеризуются случайные (шумовые) составляющие показателя автокогерентности  $\rho_W$ .

**Ключевые слова:** диагностика, контроль, автокогерентность показателя автокогерентности, чувствительность диагностики, дискриминирующие свойства.

## Assessment and study of sensitivity, discriminating and diagnostic properties of autocorrelative indicators

I. Korzhov, P. Shchapov, R. Mygoshchenko, O. Kropachek

The estimation of the sensitivity of the correlation spectral model of the auto-coherence index of the multidimensional thermodynamic process, the evaluation of the discriminating properties of the autocorrelation indices in the classification of vibration processes, the diagnostic properties of the components of the auto-coherence index on the example of the thermal and vibration signals of the real industrial object of control and diagnostics are investigated. The example of thermal dynamic processes shows the efficiency of the developed autocorrelation index  $\rho_W$  for problems of controlling the dynamic properties of inertial multidimensional industrial objects. Also shown is the possibility of automatic correction of the measurement error of temperature if control of the entire heat process, and not its individual values. The example of vibration signals shows the possibility of qualitative classification of technical states, as well as the quantitative classification of individual frequency-time components of the auto-coherence index  $\rho_W$ . It is proved that the best diagnostic properties are characterized by random (noise) components of the auto-coherence index  $\rho_W$ .

**Keywords:** diagnostics, control, auto-coherence, auto-coherence indices, diagnostic sensitivity, discriminating properties.

В. В. Кузавков, С. В. Редзюк

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

## ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ ВИХІДНОГО ТРАНСЛЯТОРА НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ІНТЕГРАЛЬНОЇ СХЕМИ

Представлено нову діагностичну модель базового логічного елемента (вихідного транслятора напівпровідникової інтегральної мікросхеми) для вдосконаленого індукційного методу діагностування. Процес визначення технічного стану сучасного радіоелектронного озброєння пов'язаний з реєстрацією та обробкою діагностичних параметрів. Основу цифрової схемотехніки становлять логічні інтегральні мікросхеми, особливості будови яких дозволили отримати математичні вирази для розрахунку значень діагностичного параметру визначення технічного стану як окремих компонентів цифрової електроніки так і цілком зразка радіоелектронного озброєння. Нова діагностична модель відображає зв'язок струму через вихідний транслятор логічної інтегральної мікросхеми з фізико-хімічними процесами, які відбуваються в напівпровідникових структурах радіоелектронних компонентів під час експлуатації (старіння).

**Ключові слова:** діагностична модель, інтегральна схема, вдосконалений індукційний метод, радіоелектронне озброєння.

### Вступ

Сучасні об'єкти радіоелектронного озброєння (РЕО) є складними технічними системами, які об'єднують модулі різного призначення. Проведення якісного діагностування цифрових блоків РЕО залежить від адекватності діагностичної моделі об'єкту контролю, методу діагностування і методики проведення діагностування.[1-4]

Структурною частиною об'єктів РЕО є цифрові блоки, до складу яких входять напівпровідникові радіоелектронні компоненти (РЕК) (діоди, транзистори, інтегральні мікросхеми). Тому в основу діагностичної моделі цифрового блоку для індукційного методу діагностування [3] покладено моделі активних елементів, які входять до складу цього блоку.

Доведено, що основним джерелом діагностичної інформації про стан цифрової ІМС є вихідний транслятор – з'явний транзистор. Тому, для будови моделі напівпровідникової інтегральної мікросхеми (ІМС) потрібно визначення параметрів базового логічного елемента з урахуванням процесів, які відбуваються в ньому під час експлуатації (старіння напівпровідникової структури), а саме зміну електрофізичних та фізико-хімічних властивостей напівпровідникової структури.[2]

З урахуванням вказаних процесів розроблено вдосконалений індукційний метод діагностування, який засновано на реєстрації узагальненого діагностичного параметру (ДП), що вимірюється в одній контрольній точці.

### Виклад основного матеріалу

Базовим логічним елементом вихідних трансляторів напівпровідникових ІМС ТТЛ – структури (транзисторно-транзисторної логіки) є схема зі складним інвертором (рис. 1). Схема складається з вхідного каскаду (багатомерний транзистор  $VT_0$ ), вихідного каскаду (транзистори  $VT_2, VT_3$ , резистор  $R_3$ , діод  $VD_3$ ) та каскаду, який розчіплює фазу (транзистори  $VT_1, VT_4$ , резистори  $R_1, R_2, R_4$ ). Транзистори  $VT_1, VT_4$ , забезпечують формування сигналів

управління для протифазного перемикання вихідних транзисторів  $VT_2, VT_3$ .

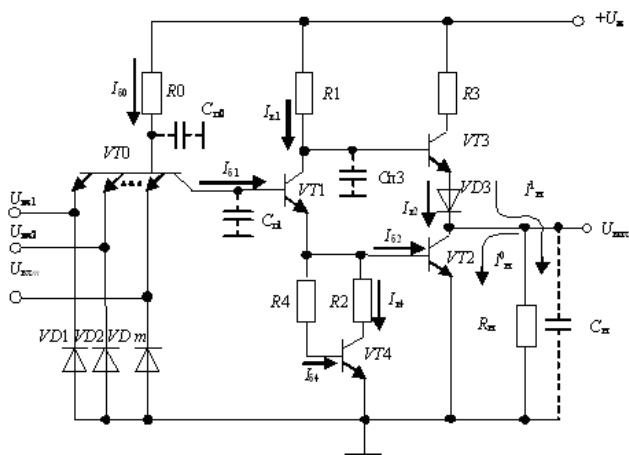


Рис. 1. Схема базового елемента І-НІ зі складним інвертором

Еквівалентна схема вихідного транслятора представлено на рис. 2.

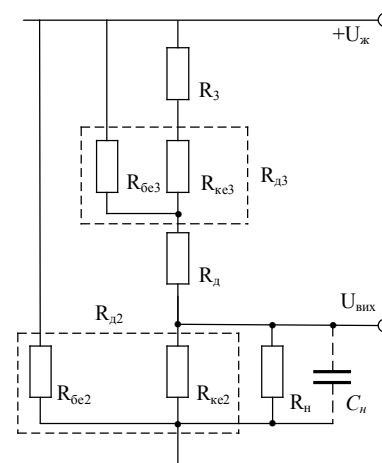


Рис. 2. Еквівалентна схема вихідного транслятора логічного елемента "І-НІ"

Резистор  $R_3$  обмежує струм у вихідному каскаді під час переходу схеми із одного стану в інший,

коли транзистор  $VT_2$  ще перебуває в режимі насичення, а транзистор  $VT_3$  уже відкрився. Діод  $VD_3$  забезпечує надійне запирання транзистора  $VT_3$ . Перехідні процеси, які відбуваються при перемиканні вихідного каскаду (транслятору) є найбільш інформативними при застосуванні індукційного методу.

Неповне закриття (відкриття) транзисторів (перехідні процеси) спричиняє виникнення імпульсів струму квазікороткого замикання. Тривалість зазначених імпульсів становить 3-10нс (ІМС TTL логіки). Фільтри в ланцюгах живлення не в змозі повністю згладжувати перешкоди від імпульсів такої тривалості. Реєстрація сигналу в шині живлення (датчик діагностичного сигналу) та обробка (автоматична система діагностування) дозволяють створити та поповнювати базу сигнатур об'єкту контролю під впливом перевіркою тестової послідовності. Таким чином, створено умови визначення фактичного технічного стану РЕО та переходу до прогресивних форм технічного обслуговування.

Математична модель транслятору ІМС дозволяє визначити стан об'єкту контролю в стаціонарному режимі (вихідне значення логічний 0 або логічна 1). Отримані значення відображують стан напівпровідникової структури на момент часу перевірки, тобто враховано час існування напівпровідника (фізико-хімічні процеси в напівпровідниковій структурі). Розглянемо функціонування транслятору технічно справної інтегральної мікросхеми логічного елементу "І-НІ". Струм в точці вимірювання (на корпусному проводі) має різні значення для стану логічного "0" та "1". Проаналізуємо обидва випадки. Перший, коли на виході транслятору (мікросхеми) буде встановлено рівень логічної "1", тобто високий потенціал і другий – коли на виході буде рівень логічного "0", тобто низький потенціал.

1. При подачі на вхід  $i_1$  елементу І-НІ низького потенціалу  $U_{ex} = U_1$ , а на інші ( $i-i_1$ ) входи високого потенціалу  $U_1 > U_{ni}$ , де  $i$  – кількість входів транзистора  $VT_0$ , а  $U_n$  – поріг переключення складного інвертора, будуть відкритими  $i$  емітерних переходів і колекторний перехід транзистора  $VT_0$ . Потенціал на базі транзистора  $VT_0$  дорівнює  $U_{\delta 1} = U_{ex} + U^*$ , а на базі транзистора  $VT_1$   $U_{\delta 1} = U_{ex} + U_{зал0} < U^*$ , де  $U_{зал0}$  - залишкова напруга на насиченому транзисторі  $VT_0$  а  $U^*$  - величина спадання напруги на відкритому  $p-n$  переході транзистора і діода  $VD_3$ .

Транзистори  $VT_1, VT_4, VT_2$ , закриті, а транзистор  $VT_3$  відкритий, на виході підтримується високий потенціал [5– 7]. Схема протікання струму в такому випадку представлено на рис. 3, а.

Струм, в місці реєстрації (на корпусній шині) в стані логічної "1" визначається виразом:

$$I^1 = I_{e3} + U^1/R_{d2}, \quad (1)$$

де  $U^1$  – напруга логічної "1";  $I_{e3}$  – емітерний струм  $VT_3$ ;  $R_{d2}$  – динамічний опір  $VT_2$ .

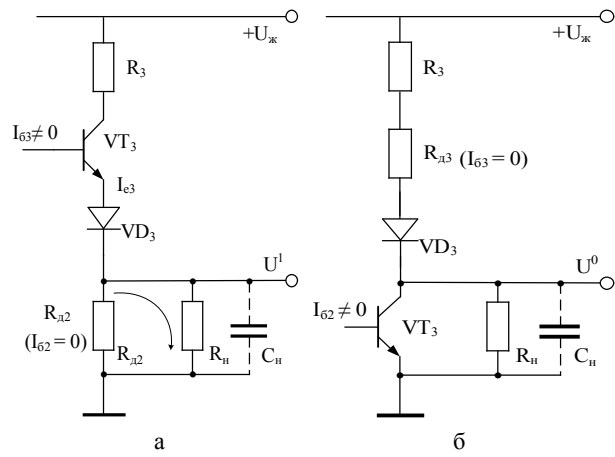


Рис. 3. Стан елементів вихідного транслятору логічної мікросхеми з логічною "1" на виході (а) та логічним "0" на виході (б)

Струм емітера представлено у вигляді [4]:

$$I_e = 2UdD_n / (n_2(D,t)\mu L_n R_d) \times \text{cth} \frac{W}{L_n} n_2(D,t) - \frac{2UdD_n}{n_1(D,t)\mu L_n R_d} \times \text{csch} \frac{W}{L_n} n_1(D,t) + Sq \frac{D_n}{L_n} n_2(D,t) (\exp \frac{qU}{kT} - 1), \quad (2)$$

де  $U$  – напруга живлення;  $R_d$  – динамічний опір колекторно-емітерного переходу;  $n_1, n_2$  – зміна концентрації основних носіїв в напівпровідниковій структурі;  $\mu$  – рухомість основних носіїв заряду;  $d$  – товщина переходу;  $D_n$  – коефіцієнт дифузії основних носіїв;  $W$  – глибина проникнення основних носіїв. Отже, з урахуванням (2), маємо:

$$I^1 = \frac{2U^1 d D_n}{n_2(D,t)\mu L_n R_{d3}} \text{cth} \frac{W}{L_n} n_2(D,t) - \frac{2U^1 d D_n}{n_1(D,t)\mu L_n R_{d3}} \text{csch} \frac{W}{L_n} n_1(D,t) + Sq \frac{D_n}{L_n} n_2(D,t) (\exp \frac{qU}{kT} - 1) + \frac{U^1}{R_{d2}} \quad (3)$$

2. При подачі на вхід  $i_1$  елементу "І-НІ" низького потенціалу  $U_{ex} = U_0$ , і на інші ( $i-i_1$ ) входи  $U_0$  - потенціали  $U_{\delta 0}$  і  $U_{\delta 1}$  зростають, поки  $U_{ex}$  не досягне значення  $U_{жс}$ , що визначається виразом [5, 6]:

$$U_{жс} = 2U^* - U_{зал. 0}, \quad (4)$$

при цьому  $U_{\delta 0} = 3U^*$ ,  $U_{\delta 1} = 2U^*$ ,  $U_{\delta 2} = U_{\delta 3} = U^*$ , і транзистори  $VT_1, VT_4, VT_2$  відкриваються. Починає протікати колекторний струм транзистора  $VT_1$ , внаслідок чого потенціали  $U_{k1}$  і  $U_{eux} = U_{k1} - 2U^*$  зменшуються. При подальшому збільшенні  $U_{ex}$  потенціали  $U_{\delta 0}, U_{\delta 1}, U_{\delta 2}, U_{\delta 4}$  зберігають досягнуті значення, емітерні переходи  $VT_0$  закриваються. Транзистор  $VT_1$  входить у режим насичення. В цьому випадку струми транзистора визначаються виразом [7]:

$$I_{\beta 1} = I_{\beta n1} = I_{\beta n0}(1 + m\beta'_I) = \frac{(1 + m\beta'_I)(E - 3U^*)}{R0}, \quad (5)$$

$$I_{K1} = I_{Kn1} = \frac{U_{жс} - U_{K1}}{R1} \approx \frac{U_{жс} - U^*}{R1}, \quad (6)$$

де  $\beta'_I$  - інверсний коефіцієнт підсилення струму для кожного з емітерів транзистора  $VT_0$ .

Потенціал  $U_{K1}$  встановлюється на рівні  $U^* + U_{зап1} \approx U^*$ . На резисторах  $R_2$  і  $R_4$  підвищується потенціал і відкриває транзистор  $VT_2$ . Через базу  $VT_2$  починає протікати струм  $I_{\beta n2}$ , що викликає його насичення [5, 6, 9]:

$$I_{\beta n2} = I_{\beta n1} + I_{Kn1} - (I_{\beta n4} + I_{Kn4}) \approx I_{\beta n1} + I_{Kn1} - \frac{U^*}{R2}. \quad (7)$$

На виході елемента "І-НІ" встановлюється низький потенціал  $U_0$ , який визначається виразом:

$$U_{вих}^0 = U_{зап2} = U_{ке2} + I_{Kn} 2r_{kk}, \quad (8)$$

де  $r_{kk}$  - об'ємний опір колекторного шару.

$I_{Kn} 2r_{kk} \approx 0$  (тому, що транзистор  $VT_2$  знаходиться у режимі відсічки),

$$U_{ке2} = p\phi_T \ln\left(\frac{(\beta'_I + 1)}{\beta'_I}\right), \quad (9)$$

де  $p$  - фактор, величина, що характеризує відмінність реального струму від ідеального;  $\phi_T$  - температурний потенціал. Різниця потенціалів між колектором  $VT_1$  і виходом недостатня для того, щоб відкрити послідовно включені  $VT_3$  і  $VD_3$ :

$$U_{K1} - U_{вих} = U^* + U_{зап1} - U_{зап2} \approx U^* < 2U^*, \quad (10)$$

тому  $VT_3$  і  $VD_3$  закриті.

Схема протікання струму в такому випадку представлено на рис. 3, б. Струм, в місці реєстрації (в стані логічного "0") визначається виразом:

$$I^0 = I_{e2} + U^0/R_n, \quad (11)$$

де  $U^0$  - напруга логічного "0";  $I_{e2}$  - емітерний струм  $VT_2$  під впливом  $U^0$ . Враховуючи (2), маємо:

$$I^0 = \frac{2U^0 dD_n}{n_2(D,t)\mu L_n R_{d2}} \operatorname{cth} \frac{W}{L_n} n_2(D,t) - \frac{2U^0 dD_n}{n_1(D,t)\mu L_n R_{d2}} \operatorname{csch} \frac{W}{L_n} n_1(D,t) + Sq \cdot (D_n/L_n) \cdot n_2(D,t) (\exp(qU/kT) - 1) + U^0/R_n. \quad (12)$$

Таким чином діагностична модель напівпровідникової логічної ІМС є система рівнянь, яка враховує значення емітерних струмів зіставного транзистора вихідного транслятора (рис 1-4) (при вихідній напрузі логічного "0" ( $U_{вих}^0$ ) та логічній "1" ( $U_{вих}^1$ )). В свою чергу  $n(D,t)$  визначається як:

$$n(D,t) = \frac{2(2\pi m_n^* kT)^{3/2}}{h^3} \exp\left\{-\frac{E_c}{kT} - \frac{\Delta E_d}{2kT} - \ln\left[\frac{h^3(N_{d0} + N_{dm})(1 - 2\Phi_0(\sqrt{2x}/2\sqrt{D_d t}))^{1/2}}{2(2\pi m_n^* kT)^{3/2}}\right]\right\}. \quad (13)$$

Підставляючи значення  $n_1, n_2$  (13) в (12) отримаємо повний вираз (систему рівнянь) залежності  $I^1$  та  $I^0$ . Отримана таким чином система рівнянь є діагностичною моделлю базового логічного елемента транслятора напівпровідникової інтегральної схеми для вдосконаленого індукційного методу діагностування РЕО та може бути використана для отримання розрахункових значень діагностичного параметру при вирішенні основних задач технічного діагностування (визначення фактичного технічного стану, локалізації несправності та прогнозування технічного стану). Умовно-графічне пояснення процесів, які досліджено, представлено на рис. 4.

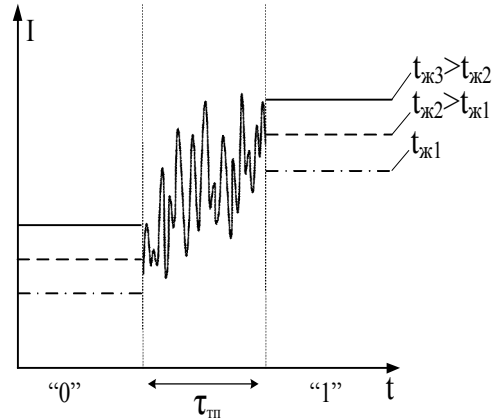


Рис. 4. Характерні зміни струму через вихідний транслятор ІМС

На рис. 4 зростання статичного рівня вихідного струму ІМС ( $I^1$  та  $I^0$ ) відповідає процесам деградації напівпровідникової структури з часом (виникнення мікрооб'ємів електролітів) [4,7,8,10]. Стохастичні зміни струму обумовлені перевіркою тестовою послідовністю тривалістю  $\tau_{ПІ}$  або збурюючими впливами під час виконання об'єктом контролю основних функцій. Час напрацювання напівпровідникової структури на рис. 4 позначено як  $t_{жс}$ . Перехідні процеси - амплітудні викиди струму квазікороткого замикання - пов'язані з кінцевим часом спрацьовування транзисторів реальної мікросхеми.

## Висновки

У статті вирішується задача побудови нової діагностичної моделі вихідного транслятора базового логічного елемента напівпровідникової інтегральної мікросхеми з урахуванням змін властивостей напівпровідника в часі. Отриману модель покладено в основу вдосконаленого безконтактного методу технічної діагностики РЕО.

Отримана система рівнянь визначає залежність струму *транслятора напівпровідникової інтегральної схеми* від фізико-хімічних властивостей напівпровідника та часу напрацювання. Модель можливо використовувати для отримання *вихідних даних* про фактичний технічний стан РЕО за результатами прискорених випробувань.

Порівняння отриманих даних (з урахуванням перерахунку часу напрацювання) з вимірними значеннями діагностичного параметру дозволять (з певною вірогідністю) встановлювати технічний стан складного об'єкту контролю або визначати місце несправності (деградації напівпровідникових структур).

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ленков С.В., Карпенко О.В., Шкуліпа П.А. Діагностична модель радіо компонента для електромагнітного методу діагностування у складі радіоелектронного пристрою // Науково-практичний журнал «Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони». – Київ, 2011. - №3(12). – С.31 – 33.
2. Жердев М.К., Шкуліпа П.А. Побудова діагностичної моделі транзистора в активному режимі роботи для енергодинамічного методу діагностування // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. - Харків, – 2012. – Вип. 4(33). – С.122 – 124.
3. Вишнівський В. В. Безконтактний індукційний метод діагностування радіоелектронних блоків / В. В. Вишнівський, М. К. Жердев, Б. П. Креденцер, В. В. Кузавков, Є. В. Редзюк // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – Київ, 2013. – Вип. № 43. – С. 17-23.
4. Кузавков В.В. Діагностична модель р-п (n-р) переходу в динамічному режимі для безконтактного індукційного методу діагностування. // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К.: ВКНУ, 2014. – Вип. №45. – 206 с
5. Zherdev M. Ways and methods of efficiency increasing of the independent automated test systems of radio-electronic devices / M. Zherdev, B. Kredentser, V. Kuzavkov // Electronics and Control Systems. – 2014. – National Aviation University. – № 4(42). – С. 150–154.
6. Жердев М. К. Побудова функціональних перевірок тестів для безконтактного індукційного методу діагностування. / М. К. Жердев, В. В. Кузавков // Системи озброєння та військова техніка: Науковий журнал. – Х.: Харківський університет повітряних сил ім. Івана Кожедуба, 2014. – № 4 (40). – С. 73-76
7. Жердев, М.К. Узагальнення результатів форсованих випробувань радіоелектронних компонентів / М.К. Жердев, В.В. Кузавков, І.В. Пампуха / збірник наук. праць ВКНУ ім. Т. Шевченка. □ Київ, 2015. — № 49. — С. 40-47.
8. Жердев, М.К. Перевірка адекватності аналітичної моделі радіоелектронного компоненту /М.К. Жердев, В.В. Кузавков / науковий журнал Інформаційна безпека Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля. □ Луганськ, 2014. — № 3 (15). — С. 76-81.
9. Судакова, Р.С. Надежность и эффективность в технике. Экспериментальная отработка и испытания / Р.С. Судакова, О.И. Тескина. – М.: Машиностроение, 2011. — Т.6. — 408 с.
10. Горлов М.И. Геронтология кремниевых интегральных схем / Горлов М.И., Емельянов В.А., Строганов А.В. – М: Наука, 2004. – 300 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. О. Можасв,  
Харківський національний університет внутрішніх справ, Харків  
Received (Надійшла) 25.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

**Диагностическая модель выходного транслятора полупроводниковой интегральной схемы**

В. В. Кузавков, Е. В. Редзюк

Представлена новая диагностическая модель базового логического элемента (исходного транслятора полупроводниковой интегральной микросхемы) для усовершенствованного индукционного метода диагностирования. Процесс определения технического состояния современного радиоэлектронного вооружения (РЭВ) связан с регистрацией и обработкой диагностических параметров. Основу цифровой схемотехники составляют логические интегральные микросхемы, особенности строения которых позволили получить математические выражения для расчета значений диагностического параметра определения технического состояния как отдельных компонентов цифровой электроники, так и образца радиоэлектронного вооружения в целом. Новая диагностическая модель отображает связь тока через выходной транслятор логической ИМС с физико-химическими процессами, которые происходят в полупроводниковых структурах радиоэлектронных компонентов во время эксплуатации (старение).

**Ключевые слова:** диагностическая модель, интегральная схема, усовершенствованный индукционный метод, радиоэлектронное вооружение.

**Diagnostic model of semiconductor integral scheme output transmitter**

V. Kuzavkov, Ye. Redziuk

Presents a new diagnostic model of the basic logic element (the original translator of the semiconductor integrated circuits) for the improved induction method of diagnostics. The process of determining the technical state of modern radio-electronic weapons is associated with the registration and processing of diagnostic parameters. The basis of the digital circuitry are logic integrated circuits, whose structural features allowed to obtain mathematical expressions for calculating the values of the diagnostic parameter for determining the technical state as separate components of digital electronics and a complete sample of radio-electronic weapon. The new diagnostic model reflects the current connection through the output logic IC recorder with the physico-chemical processes occurring in the semiconductor structures of the radio-electronic components during operation (aging).

**Keywords:** diagnostic model, integrated circuit, advanced induction method, radio-electronic weapon.



А. С. Кулик, К. Ю. Дергачев, С. Н. Пасичник, Ю. А. Немшилов

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

## СТАБИЛИЗАЦИЯ НЕУСТОЙЧИВЫХ СОСТОЯНИЙ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА С ВИНТОВЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

**Предметом** изучения в статье является технологический процесс аналитического синтеза алгоритмов стабилизации неустойчивых состояний обратного маятника с винтовыми электроприводами. **Целью** является разработка технологии оптимального аналитического синтеза алгоритмов стабилизации неустойчивых состояний обратного маятника с винтовыми электроприводами. **Задачи:** сформировать физическую модель обратного маятника с винтовыми электроприводами. Разработать с помощью Лагранжевого формализма нелинейную математическую модель обратного маятника с винтовыми электроприводами как объекта автоматической стабилизации. Построить линеаризованную математическую модель объекта автоматической стабилизации в пространстве состояний. Проанализировать функциональные свойства объекта автоматической стабилизации. Сформировать структурные схемы системы автоматической стабилизации состояний обратного маятника с винтовыми электроприводами. Получить аналитические соотношения для вычисления оптимальных значений параметров алгоритмов стабилизации неустойчивых состояний обратного маятника с винтовыми электроприводами. Синтезировать для конкретного обратного маятника с винтовыми электроприводами алгоритм оптимальной стабилизации углового положения. Используемыми **методами** являются: метод Лагранжа, аналитической линеаризации, пространства состояний, преобразования Лапласа. Получены следующие **результаты.** Сформирован технологический процесс оптимального аналитического синтеза алгоритмов стабилизации неустойчивых состояний обратного маятника с винтовыми электроприводами. На конкретном числовом примере проиллюстрирована продуктивность предложенного процесса аналитического конструирования и инструментальных средств для параметрического синтеза алгоритмов стабилизации обратного маятника с винтовыми электроприводами. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов состоит в следующем: получены разнотипные модели обратного маятника с винтовыми электроприводами как объекта автоматической стабилизации, отличающиеся от известных учетом динамических свойств винтовых электроприводов, создающих управляющие моменты стабилизации. Сформированы условия выбора параметров пропорционально-дифференциальной структуры алгоритмов стабилизации для обеспечения устойчивости и оптимальности переходного процесса замкнутой системы стабилизации, отличающиеся от известных спецификой формирования управляющих моментов стабилизации по интегральному критерию взвешенного модуля ошибки.

**Ключевые слова:** обратный маятник, винтовой электропривод, объект автоматической стабилизации, алгоритм стабилизации, аналитический синтез, стабилизация неустойчивых состояний, интегральный критерий взвешенного модуля ошибки.

### Введение

**Постановка проблемы.** Появление во время полета неустойчивых состояний характерно для ряда классов летательных аппаратов. Неустойчивые состояния обусловлены смещением центра давления аэродинамических сил вперед по продольной оси относительно центра масс летательных аппаратов. В различных классах летательных аппаратов известны конструкции, обладающие статической неустойчивостью. Так, для обеспечения маневренности истребителей центр давления аэродинамических сил размещают перед центром масс. На ракеты-носители при полете в атмосфере действует опрокидывающий момент аэродинамических сил. В космическом полете на спутники в условиях отсутствия демпфирующей среды возмущающие воздействия приводят к неустойчивому движению относительно центра масс. Летательный аппарат, находящийся в неустойчивом состоянии, не может быть использован по назначению, так как не выполняется необходимое условие работоспособности – устойчивость [1, 2].

Расширение функциональных возможностей летательных аппаратов приводит к усложнению их конструкций и появлению новых неустойчивых состояний в поведении их как объектов автоматического управления. Для стабилизации неустойчивых состояний новых летательных аппаратов необходи-

мо изучение причин их появления и моделирование этих явлений с помощью различных инструментальных средств.

Простейшими физическими моделями неустойчивых движений являются различные маятниковые устройства. Использование маятниковых устройств различных конструкций позволяет перенести изучение явлений неустойчивости с проектируемых реальных летательных аппаратов на более простые идеализированные физические модели с целью формирования методов обеспечения стабилизации движений [3 – 6].

В известных моделях маятниковых устройств, как правило, задается только интервал изменения управляющего момента и не учитываются динамические свойства привода, влияющие как на устойчивость, так и на качество автоматической стабилизации.

Использование для создания управляющих моментов винтовых электроприводов, применяемых в ряде перспективных летательных аппаратов, обусловило необходимость проведения исследований по обеспечению стабилизации с их помощью.

**Постановка задачи.** Разработать технологию синтеза алгоритмов стабилизации, оптимальных по интегральному критерию взвешенного квадрата ошибки, для неустойчивых состояний обратного маятника с винтовыми электроприводами.

### 1. Физическая модель обратного маятника с винтовыми электроприводами

На рис. 1 представлена физическая модель механической части исследуемого маятника в инерциальной системе координат OXY.

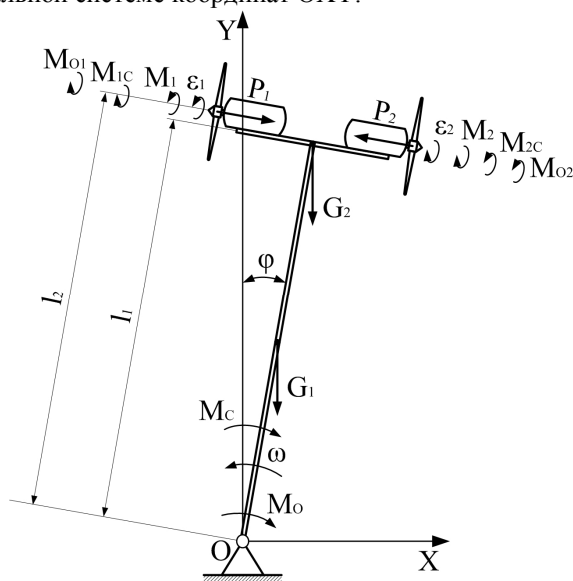


Рис. 1. Физическая модель маятника:

$\varphi, \varepsilon_1, \varepsilon_2$  – угловые положения маятника, первого и второго винтов;  $\omega$  – угловая скорость маятника;  $G_1$  – вес стержня;  $G_2$  – вес поперечной балки;  $P_1, P_2$  – тяги винтов;  $M_1, M_2$  – вращающие моменты электроприводов;  $M_c, M_{c1}, M_{c2}$  – моменты аэродинамического сопротивления маятника и винтов;  $M_o, M_{o1}, M_{o2}$  – статические моменты сопротивления в шарнире маятника и опорах электроприводов

На маятник действуют следующие силы и моменты: вес стержня  $G_1$ ; вес поперечной балки  $G_2$ ; тяги первого и второго винтов  $P_1$  и  $P_2$ ; вращающие моменты электроприводов  $M_1$  и  $M_2$ ; момент аэродинамического сопротивления маятника  $M_c$ ; моменты аэродинамического сопротивления винтов  $M_{c1}$  и  $M_{c2}$ ; статический момент сопротивления в шарнире маятника  $M_o$ ; статические моменты сопротивления в опорах электроприводов  $M_{o1}$  и  $M_{o2}$ . Параметры углового движения: угловое положение  $\varphi$  и угловая скорость  $\omega$  маятника; угловые положения  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  и угловые скорости винтов  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Физическая модель винтового электропривода показана на рис. 2.

Особенность данного электропривода заключается в создании основного магнитного поля с помощью постоянных магнитов, установленных на внутренней поверхности статора. В результате взаимодействия постоянного магнитного поля статора с электрическим полем якоря в обмотке якоря возникает движущий момент  $M_i, i = \overline{1,2}$  и индуцируется противоЭДС  $e_{яi}, i = \overline{1,2}$ . Часть подведенного на-

пряжения  $u_{Ri}, i = \overline{1,2}$  рассеивается в виде тепла на активном сопротивлении  $R_{яi}, i = \overline{1,2}$  обмотки.

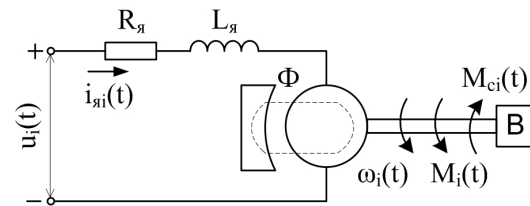


Рис. 2. Физическая модель винтового электропривода:

$u_i(t), i = \overline{1,2}$  – управляющее напряжение;  $i_{яi}(t), i = \overline{1,2}$  – ток якоря;  $\omega_i(t), i = \overline{1,2}$  – угловая скорость вращения якоря с винтом;  $\Phi$  – магнитный поток;  $R_я$  – сопротивление обмотки якоря;  $L_я$  – индуктивность обмотки якоря

Параметрами движения в обмотках якорей первого и второго электроприводов являются заряды  $q_1, q_2$  и токи  $i_1$  и  $i_2$ ; угловые положения  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  и угловые скорости винтов  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

### 2. Нелинейная математическая модель

Для формирования математической модели исследуемого маятника используем уравнения Лагранжа второго рода [7] в следующем виде:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i^r + Q_i^u; \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $T$  – выражение кинетической энергии объекта моделирования;  $q_i$  – обобщенная координата;  $Q_i^r$  – обобщенная сила, соответствующая силам сопротивления;  $Q_i^u$  – обобщенная сила, соответствующая управляющим воздействиям.

Движение маятника характеризуется пятью степенями свободы, поэтому в качестве обобщенных координат выберем  $\varphi, \varepsilon_1, \varepsilon_2, q_1, q_2$ .

Кинетическая энергия обратного маятника с винтовыми электроприводами определяется таким выражением:

$$T = \frac{1}{2} \left( I_{np} \dot{\varphi}^2 + I_p (\dot{\varepsilon}_1^2 + \dot{\varepsilon}_2^2) + L_я (\dot{q}_1^2 + \dot{q}_2^2) \right), \quad (2)$$

где  $I_{np} = \left( \frac{4}{3} m_1 + m_2 \right) l_1^2$  – приведенный момент инерции маятника;  $m_1$  – масса стержня;  $m_2$  – масса поперечной балки с электроприводами;  $I_p$  – момент инерции ротора электропривода с винтом;  $L_я$  – индуктивность обмотки якоря.

Обобщенная сила  $Q_i^r$ , найденная посредством формирования выражения элементарной работы, описывается следующим образом:

– для обобщенной координаты  $\varphi$  :

$$Q_\varphi^r = -M_o - M_c; \quad (3)$$

– для обобщенной координаты  $\varepsilon_1$ :

$$Q'_{\varepsilon_1} = -M_{o1} - M_{c1}; \quad (4)$$

– для обобщенной координаты  $\varepsilon_2$ :

$$Q'_{\varepsilon_2} = -M_{o2} - M_{c2}; \quad (5)$$

– для обобщенной координаты  $q_1$ :

$$Q'_{q_1} = -e_{я1} - u_{R1}; \quad (6)$$

– для обобщенной координаты  $q_2$ :

$$Q'_{q_2} = -e_{я2} - u_{R2}. \quad (7)$$

Обобщенная сила  $Q_i^u$  будет равна:

– для обобщенной координаты  $\varphi$ :

$$Q_\varphi^u = P_1 l_1 - P_2 l_2 + \frac{1}{2} G_1 l_1 \sin \varphi + G_2 l_1 \sin \varphi; \quad (8)$$

– для обобщенной координаты  $\varepsilon_1$ :

$$Q_{\varepsilon_1}^u = M_1; \quad (9)$$

– для обобщенной координаты  $\varepsilon_2$ :

$$Q_{\varepsilon_2}^u = M_2; \quad (10)$$

– для обобщенной координаты  $q_1$ :

$$Q_{q_1}^u = u_1; \quad (11)$$

– для обобщенной координаты  $q_2$ :

$$Q_{q_2}^u = u_2. \quad (12)$$

Выполним операции над полученными выражениями в соответствии с уравнением Лагранжа (1):

$$\begin{cases} I_{np} \varphi = P_1 l_2 - P_2 l_2 + (G_1 l_1 \sin \varphi) / 2 + \\ \quad + G_2 l_1 \sin \varphi - M_o - M_c; \\ I_p \varepsilon_1 = M_1 - M_{o1} - M_{c1}; \\ I_p \varepsilon_2 = M_2 - M_{o2} - M_{c2}; \\ L_{я1} q_1 + u_{R1} + e_{я1} = u_1; \\ L_{я2} q_2 + u_{R2} + e_{я2} = u_2. \end{cases} \quad (13)$$

Аэродинамические моменты сопротивления  $M_c$ ,  $M_{c1}$ ,  $M_{c2}$  определяются следующими соотношениями:

$$M_c = m_c(\varphi) \frac{\rho l_1^2 \varphi^2}{2} S_g l_1; \quad (14)$$

$$M_{ci} = m_{ci}(\varepsilon_i) \frac{\rho r_g^2 \varepsilon_i^2}{2} S_g r_g; \quad i = \overline{1, 2}, \quad (15)$$

где  $m_c(\varphi)$ ,  $m_{ci}(\varepsilon_i)$  – аэродинамические коэффициенты;  $\rho$  – плотность воздуха;  $r_g$  – радиус винта;  $S_g$  – ометаемая площадь винта. Сила тяги винтовых электроприводов характеризуется таким соотношением:

$$P_i = \alpha \rho \omega_i^2 d_g^4; \quad i = \overline{1, 2}, \quad (16)$$

где  $\alpha$  – коэффициент тяги винта;  $d_g$  – диаметр винта.

Вращающий момент электропривода постоянного тока определяется таким выражением:

$$M_i = n_i q_i B_i a_i \sin(\varepsilon_i t); \quad i = \overline{1, 2}, \quad (17)$$

где  $n_i$  – число витков обмотки якоря;  $B_i$  – магнитная индукция;  $a_i$  – площадь витка;  $t$  – время.

Противо-ЭДС, индуцируемая в обмотке якоря при его вращении с угловой скоростью  $\varepsilon_i$ , определяется таким соотношением:

$$e_{яi} = \varepsilon_i r_{яi} B_i l_{ni} \sin(\varepsilon_i t); \quad i = \overline{1, 2}, \quad (18)$$

где  $r_{яi}$  – радиус якоря;  $l_{ni}$  – длина проводника, охватываемого магнитным полем.

Падение напряжения на активном сопротивлении обмотки якоря характеризуется выражением:

$$u_{Ri} = R_i q_i. \quad (19)$$

Уравнения (13) – (19) представляют собой математическое описание нелинейных движений обратного маятника под действием возмущающих и управляющих воздействий. Использование нелинейной математической модели для достижения поставленной цели не представляется возможным, поэтому получим упрощенную математическую модель.

### 3. Линеаризованная математическая модель

Для упрощения нелинейной математической модели использовался метод аналитической линеаризации, основанной на разложении уравнений (13) – (19) в ряд Тейлора относительно начальных условий, соответствующих вертикальному положению маятника, и пренебрежении членами более высокого порядка малости. В результате получена система:

$$\begin{cases} a_{11} \Delta \varphi + a_{12} \Delta \varphi + a_{13} \Delta P_1 + a_{14} \Delta P_2 = 0; \\ a'_{21} \Delta \varepsilon_1 + \Delta \varepsilon_1 = b'_{21} \Delta q_1; \\ a'_{31} \Delta \varepsilon_2 + \Delta \varepsilon_2 = b'_{31} \Delta q_2; \\ a'_{41} \Delta q_1 + \Delta q_1 = b'_{41} \Delta \varepsilon_1 + b'_{42} \Delta u_1; \\ a'_{51} \Delta q_2 + \Delta q_2 = b'_{51} \Delta \varepsilon_2 + b'_{52} \Delta u_2; \\ a'_{61} \Delta \varepsilon_1 = -\Delta P_1; \\ a'_{71} \Delta \varepsilon_2 = -\Delta P_2, \end{cases} \quad (20)$$

где  $a_{11} = I_{np}$ ;  $a_{12} = -\left(\frac{1}{2} G_1 + G_2\right) l_1 \cos \varphi_0$ ;  $a_{13} = -l_2$ ;

$$a'_{21} = I_p \left( \frac{\partial M_1}{\partial \varepsilon_1} + \frac{\partial M_{c1}}{\partial \varepsilon_1} \right)_0^{-1}; \quad b'_{21} = \left( \frac{\partial M_1}{\partial q_1} \right)_0 \left( \frac{\partial M_1}{\partial \varepsilon_1} + \frac{\partial M_{c1}}{\partial \varepsilon_1} \right)_0^{-1};$$

$$a_{14} = l_2; \quad a'_{31} = I_p \left( \frac{\partial M_2}{\partial \varepsilon_2} + \frac{\partial M_{c2}}{\partial \varepsilon_2} \right)_0^{-1}; \quad a'_{41} = \frac{L_{я1}}{R_{я1}};$$

$$b'_{31} = \left( \frac{\partial M_2}{\partial q_2} \right)_0 \left( \frac{\partial M_2}{\partial \varepsilon_2} + \frac{\partial M_{c2}}{\partial \varepsilon_2} \right)_0^{-1}; \quad b'_{41} = -\frac{1}{R_{я1}} \frac{\partial e_{я1}}{\partial \varepsilon_1};$$

$$b'_{42} = \frac{1}{R_{я1}}; \quad a'_{51} = \frac{L_{я2}}{R_{я2}}; \quad b'_{51} = -\frac{1}{R_{я2}} \frac{\partial e_{я2}}{\partial \varepsilon_2}; \quad b'_{52} = \frac{1}{R_{я2}};$$

$$a'_{61} = -2\alpha \rho \varepsilon_{10} d_g^4; \quad a'_{71} = -2\alpha \rho \varepsilon_{20} d_g^4.$$

Коефіцієнти  $a'_{21}$ ,  $a'_{31}$ ,  $a'_{41}$  и  $a'_{51}$  отражают инерционные свойства первого и второго электроприводов. Учитывая, что  $a'_{11}$ ,  $a'_{41}$  и  $a'_{31}$ ,  $a'_{51}$ , и введя новые обозначения, систему уравнений (20) можно записать в более простом виде:

$$\begin{cases} a_{11}\Delta\varphi + a_{12}\Delta\varphi + a_{13}\Delta P_1 + a_{14}\Delta P_2 = 0; \\ a_{21}\Delta\varepsilon_1 + \Delta\varepsilon_1 = b_{21}\Delta u_1; \\ a_{31}\Delta\varepsilon_2 + \Delta\varepsilon_2 = b_{31}\Delta u_2; \\ a_{41}\Delta\varepsilon_1 = -\Delta P_1; \\ a_{51}\Delta\varepsilon_2 = -\Delta P_2, \end{cases} \quad (21)$$

где  $a_{21} = T_1$ ;  $b_{21} = \kappa_1$ ;  $a_{31} = T_2$ ;  $b_{31} = \kappa_2$ ;  $a_{41} = -2\kappa_4\varepsilon_{10}$ ;  $a_{51} = -2\kappa_5\varepsilon_{20}$ ;  $T_1$ ,  $T_2$  – постоянные времени электроприводов с учетом моментов инерции винтов;  $\kappa_1$ ,  $\kappa_2$  – коэффициенты передачи электроприводов;  $\kappa_4$ ,  $\kappa_5$  – коэффициенты преобразования винтов. Представим систему уравнений (21) в следующих переменных состояния:

$$\Delta\varepsilon_1 = x_1(t); \Delta\varepsilon_2 = x_2(t); \Delta\varphi = x_3(t); \Delta\varphi = x_4(t).$$

В результате соответствующих преобразований получим в векторно-матричной форме уравнение:

$$\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/a_{21} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1/a_{31} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ a_{13}a_{41} & a_{14}a_{51} & -a_{12} & 0 \\ a_{11} & a_{11} & a_{11} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{21}/a_{21} & 0 \\ 0 & b_{31}/a_{31} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} x_1(t_0) \\ x_2(t_0) \\ x_3(t_0) \\ x_4(t_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ x_{30} \\ x_{40} \end{bmatrix}. \quad (22)$$

Для того, чтобы конструкцию обратного маятника с винтовыми электроприводами можно было использовать как объект автоматической стабилизации, её необходимо дополнить датчиком угла  $\varphi$  – углового положения. Тогда выходной сигнал датчика  $u_\partial$  будет связан через коэффициент передачи  $\kappa_\partial$  с вектором состояния следующим образом:

$$u_\partial(t) = [0 \quad 0 \quad \kappa_\partial \quad 0] \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{bmatrix}, \quad (23)$$

а уравнения (22), (23) можно представить в виде

$$x(t) = Ax(t) + Bu(t); x(t_0) = x_0; u_\partial(t) = c^m x(t) \quad (24)$$

как линеаризованную модель объекта автоматической стабилизации.

#### 4. Анализ функциональных свойств объекта автоматической стабилизации

Необходимыми условиями для формирования алгоритмов управления объекта автоматической

стабилизации являются: 1) возможность управлять состояниями объекта с помощью используемых винтовых электроприводов; 2) возможность наблюдать состояния посредством измерения состояния  $x_3(t)$ . Возможность управления состояниями объекта автоматической стабилизации оценим с помощью критерия управляемости Р. Калмана применительно к системе (24) в такой форме:

$$\text{rang } R = [B \quad AB \quad A^2B \quad A^3B].$$

Сделав соответствующие преобразования с матрицами  $A$  и  $B$ , получим матрицу управляемости размера  $\dim R = 4 \times 6$ . Среди столбцов этой матрицы можно найти четыре столбца следующей структуры, сведенные в подматрицу  $R_1$ :

$$R_1 = \begin{bmatrix} r_{11} & 0 & r_{15} & 0 \\ 0 & r_{22} & 0 & r_{26} \\ 0 & 0 & r_{35} & r_{36} \\ 0 & 0 & r_{45} & r_{46} \end{bmatrix}. \quad (25)$$

Определитель подматрицы  $R_1$ :

$$\det R_1 = r_{11}r_{22}(r_{35}r_{46} - r_{45}r_{36}). \quad (26)$$

Если раскрыть структуру коэффициентов  $r_{ij}$ , то получим следующее выражение:

$$\det R_1 = \frac{b_{21}^2 b_{31} b_{41}}{a_{11}^2 a_{21}^2 a_{31}} \left( \frac{a_{13} a_{14} a_{51} b_{31} - b_{21} a_{11} a_{21} a_{31}}{a_{21} a_{31}} \right). \quad (27)$$

Для полной управляемости объекта автоматической стабилизации по Калману необходимо и достаточно, чтобы  $\det R_1 \neq 0$ . В нашем случае это означает, что  $a_{13} a_{14} a_{51} b_{31} \neq b_{21} a_{11} a_{21} a_{31}$ .

Подставив конкретные выражения параметров, получаем условие полной управляемости:

$$2I_2^2 \kappa_4 \varepsilon_{20} \kappa_2 \neq \kappa_1 I_{np} T_1 \kappa_2, \quad (28)$$

т.е. линейно независимы столбцы, а следовательно, ранг матрицы  $R$   $\text{rang } R = 4$  и объект автоматической стабилизации является полностью управляемым, т.е. он может быть переведен из некоторого начального состояния  $x(t_0)$  в желаемое состояние  $x(t_1)$  за конечный интервал времени  $t_1 - t_0$ .

Возможность наблюдения состояний объекта автоматической стабилизации оценим с помощью критерия наблюдаемости Р. Калмана. Для системы уравнений (24) требуется сформировать следующую матрицу наблюдаемости:

$$Q = [c^m \quad (cA)^m \quad (cA^2)^m \quad (cA^3)^m]. \quad (29)$$

Выполнив соответствующие преобразования матриц  $c$  и  $A$ , получим матрицу наблюдаемости  $Q$ ,  $\dim Q = 4 \times 4$ . Необходимое и достаточное условие наблюдаемости по Калману заключается в том, чтобы ранг матрицы  $Q$  был равен размерности вектора состояния  $x(t)$ , т.е. 4. Для выполнения этого

условия требуется, чтобы  $\det Q \neq 0$ . Определитель матрицы наблюдаемости равен

$$\det Q = \kappa_\delta^4 \frac{a_{13}a_{41}a_{14}a_{51}}{a_{11}^2} \left( -\frac{1}{a_{21}} + \frac{1}{a_{31}} \right). \quad (30)$$

В физических параметрах объекта автоматической стабилизации получим такое выражение:

$$\det Q = -\kappa_\delta^4 \cdot 4I_2^2 \kappa_3 \kappa_4 \varepsilon_{10} \varepsilon_{20} / I_{np}^2 \cdot (-1/T_1 + 1/T_2). \quad (31)$$

Полученное выражение не равно нулю, если  $1/T_1 \neq 1/T_2$ .

При этом условии объект автоматической стабилизации будет полностью наблюдаем, что означает возможность вычислять все переменные состоя-

ния. Практическое выполнение условия (32) означает одновременное использование различных по динамическим свойствам винтовых электроприводов. Если винтовые электроприводы используются не одновременно, а попеременно, то для полной наблюдаемости двумерного вектора состояния объекта автоматической стабилизации можно использовать идентичные электроприводы.

Итак, объект автоматической стабилизации состоит из обратного маятника, двух винтовых электроприводов и датчика углового положения маятника. В линейном приближении процесс преобразования управляющих воздействий  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  в выходной сигнал датчика угла  $u_\delta(t)$  графически можно представить с помощью структурной схемы (рис. 3).

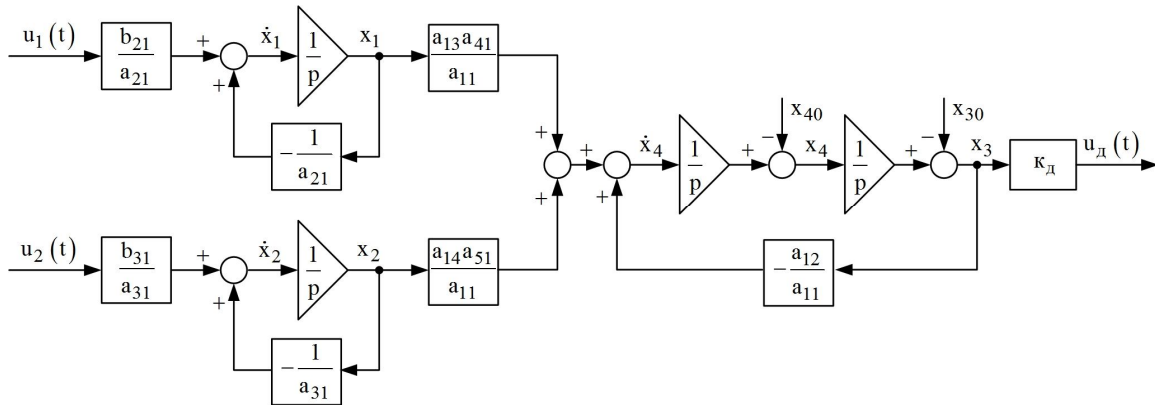


Рис. 3. Структурная схема линейризованной модели объекта автоматической стабилизации;  $\frac{1}{p}$  – символ интегрирования

### 5. Синтез системы автоматической стабилизации

Продуктивность решения задачи стабилизации обратного маятника существенно зависит от правильного выбора её структуры. Рассматриваемый объект автоматической стабилизации имеет три степени свободы и четырехмерный вектор состояния. Чтобы обратный маятник сохранял заданное положение равновесия, требуется измерять все переменные состояния и результаты измерений использовать для формирования управляющих воздействий  $u_1(t)$  и  $u_2(t)$  на винтовые электроприводы.

В исследуемой конструкции используется только датчик углового положения обратного маятника, измеряющий переменную состояния  $x_3(t) = \varphi(t)$ . Для обеспечения недостающей информации о состоянии обратного маятника, а именно, о переменной состояния  $x_4(t)$  в структуру алгоритма стабилизации можно ввести дифференцирующую составляющую, формирующую сигнал о скорости изменения углового положения. На рис. 4 представлена структурная схема с использованием передаточных функций.

В схеме используются следующие обозначения:  $\kappa_3$  – коэффициент передачи сигнала углового положения;  $\kappa_4$  – коэффициент передачи о скорости изменения углового положения;  $sign$  – переключательная функция;  $U_3(s)$  – изображение задающего воздействия;  $E(s)$  – изображение сигнала ошибки; ОАС – объект автоматической стабилизации; УАС – устройство автоматической стабилизации.

Передаточная функция замкнутой системы по управляющему воздействию при использовании первого винтового электропривода будет иметь вид:

$$\Phi(s) = U_\delta(s) / U_3(s) = \kappa_1 \kappa_\delta / (T_1 s^3 + s^2 + (\kappa_1 \kappa_\delta \kappa_4 - c T_1) s + \kappa_1 \kappa_\delta \kappa_3 - c). \quad (33)$$

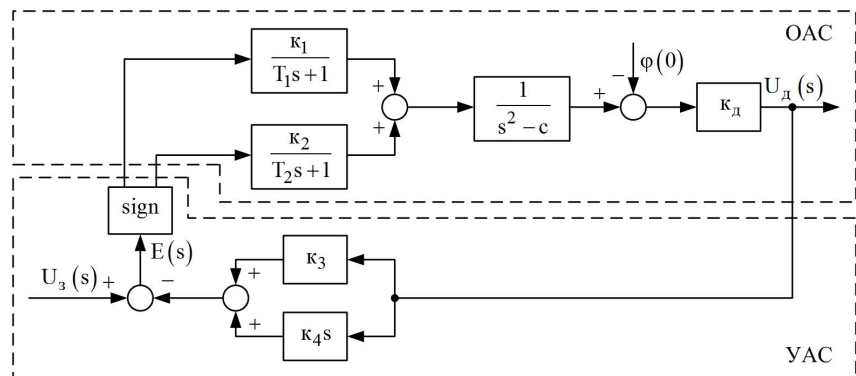


Рис. 4. Структурная схема системы автоматической стабилизации

Два параметра  $\kappa_3$  и  $\kappa_4$  в передаточной функции (33) неизвестны. Выбор этих параметров будем производить исходя из двух условий работоспособности системы: 1) необходимого – обеспечения устойчивости функционирования замкнутого контура системы; 2) достаточного – обеспечения оптимальных показателей качества функционирования системы стабилизации.

Для выполнения необходимого условия работоспособности воспользуемся критерием Гурвица для характеристического уравнения системы

$$T_1 s^3 + s^2 + (\kappa_1 \kappa_\delta \kappa_4 - c T_1) s + \kappa_1 \kappa_\delta \kappa_3 - c = 0. \quad (34)$$

Необходимое условие устойчивости по критерию Гурвица – положительность коэффициентов характеристического уравнения, следовательно, нужно так выбирать параметры, чтобы

$$\kappa_4 > \frac{c T_1}{\kappa_1 \kappa_\delta}; \quad \kappa_3 > \frac{c}{\kappa_1 \kappa_\delta}. \quad (35)$$

Достаточное условие устойчивости

$$\kappa_1 \kappa_\delta \kappa_4 - c T_1 - T_1 (\kappa_1 \kappa_\delta \kappa_3 - c) > 0 \quad (36)$$

позволяет определить колебательную границу устойчивости

$$\kappa_4 = T_1 \kappa_3. \quad (37)$$

Область устойчивости в системе координат приведена на рис. 5.

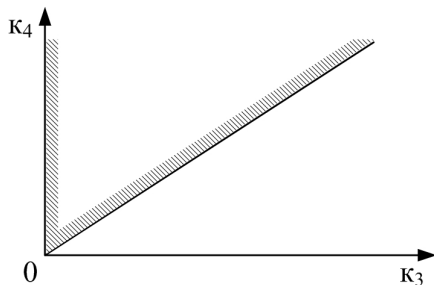


Рис. 5. Область устойчивости системы стабилизации

Из выражения (37) следует, что область устойчивости зависит от инерционных свойств винтового электропривода. Чем больше инерционность, т.е.  $T_1$ , тем меньше область устойчивости. С уменьшением  $T_1$  область устойчивости расширяется.

Итак, выбор параметров УАС из области устойчивости обеспечивает необходимое условие работоспособности системы стабилизации положения обратного маятника. Конкретизировать выбор можно введением новых условий, сужающих область устойчивости. Такие условия формируются из достаточных условий работоспособности, т.е. требований к качеству переходного процесса.

Для обеспечения достаточного условия работоспособности воспользуемся интегральным критерием качества

$$I = \int_0^T t |e(t)| dt, \quad (38)$$

который определяется как интеграл от взвешенного модуля ошибки на интервале времени  $[0; T]$ . Выбор параметров  $\kappa_3$  и  $\kappa_4$  из условия обеспечения минимума критерия (38) обеспечит оптимальность показателей качества стабилизации положения обратного маятника относительно выбранного критерия. По критерию (38) определены для передаточной функции замкнутой системы оптимальные значения коэффициентов, которые минимизируют ошибку  $e(t)$  в реакции на ступенчатое управляющее воздействие [8, 9]. Для системы третьего порядка передаточная функция замкнутой системы должна иметь следующий вид:

$$\Phi(s) = \frac{U_\delta(s)}{U_3(s)} = \frac{\omega_n^3}{s^3 + 1,75\omega_n s^2 + 2,15\omega_n^2 s + \omega_n^3}, \quad (39)$$

где  $\omega_n$  – средний геометрический корень стандартного полинома.

Для того, чтобы привести исходную передаточную функцию (33) к требуемому виду (39) введем предшествующий фильтр с передаточной функцией

$$W_\phi(s) = \frac{U'_3(s)}{U_3(s)} = \kappa_3 - \frac{a_{12}}{\kappa_1 \kappa_\delta}. \quad (40)$$

Структурная схема системы автоматической стабилизации преобразуется к виду на рис. 6.

Передаточная функция замкнутой системы в соответствии со структурной схемой (рис. 6) и передаточной функцией (39) будет иметь такой вид:

$$\Phi_1(s) = U_\delta(s)/U_3(s) = \frac{(\kappa_1 \kappa_\delta \kappa_3 - c)/T_1}{s^3 + s^2/T_1 + (\kappa_1 \kappa_\delta \kappa_4 - c T_1) \cdot s/T_1 + (\kappa_1 \kappa_\delta \kappa_3 - c)/T_1}. \quad (41)$$

Сопоставляя коэффициенты передаточных функций (41) и (39), получим такие соотношения:

$$\omega_n = \frac{1}{1,75 T_1}; \quad \kappa_4 = \frac{T_1 (2,15 \omega_n^2 + c)}{\kappa_1 \kappa_\delta}; \quad \kappa_3 = \frac{T_1 \omega_n^3 + c}{\kappa_1 \kappa_\delta}, \quad (42)$$

с помощью которых вычисляются значения параметров  $\kappa_3$  и  $\kappa_4$ , обеспечивающие оптимальность переходного процесса в соответствии с интегральным критерием взвешенного модуля ошибки (38).

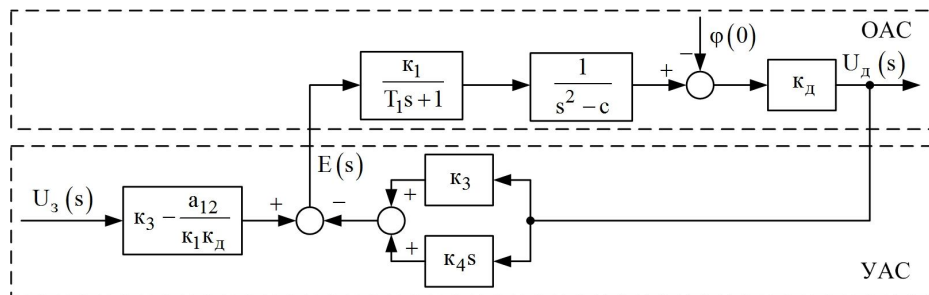


Рис. 6. Структурная схема модифицированной системы автоматической стабилизации

Для проверки правильности процедуры синтеза необходимо оценить показатели качества переходного процесса. Известно несколько методов оценки качества переходных процессов. Самый простой заключается в использовании нормированных переходных характеристик, соответствующих оптимальным коэффициентам нормированной передаточной функции для интегрального критерия взвешенного модуля ошибки [3]. Зная численное значение  $\omega_n = 2,86$  можно определить время переходного процесса. Для используемого ступенчатого управляющего воздействия можно определить перерегулирование и точность в установившемся режиме.

Более продуктивный метод заключается в построении графика переходного процесса и определении его показателей качества. Построение графика переходного процесса связано с формированием изображения выходного сигнала системы  $U_\delta(s)$  как реакции системы на ступенчатый входной сигнал. Полученное изображение представляет собой дробно-рациональную функцию. Для знаменателя этой функции вычисляются корни. Исходя из полученной структуры корней производится разложение изображения  $U_\delta(s)$  на элементарные дроби с неизвестными значениями коэффициентов числителей.

В результате соответствующих преобразований вычисляются значения коэффициентов.

Для получения оригинала переходного процесса используется обратное преобразование Лапласа  $u_\delta(t) = L^{-1}\{U_\delta(s)\}$ . С помощью таблиц обратных преобразований Лапласа формируется аналитическое выражение переходного процесса для построения его графика. По графику переходного процесса вычисляются фактические показатели качества.

Анализ полученных показателей качества позволяет установить допущенные при синтезе ошибки, а в случае их отсутствия выяснить степень их соответствия желаемым показателям качества и наметить пути по дальнейшему практическому совершенствованию системы стабилизации неустойчивых состояний обратного маятника с винтовыми электроприводами.

**Блок-схема технологического процесса синтеза.** Представим в графическом виде технологический процесс синтеза посредством этапов и инструментальных средств (рис. 7). Процесс синтеза – итерационный процесс. Для упрощения графического представления технологии на блок-схеме не показаны обратные связи, вызванные контролем каждого этапа синтеза.

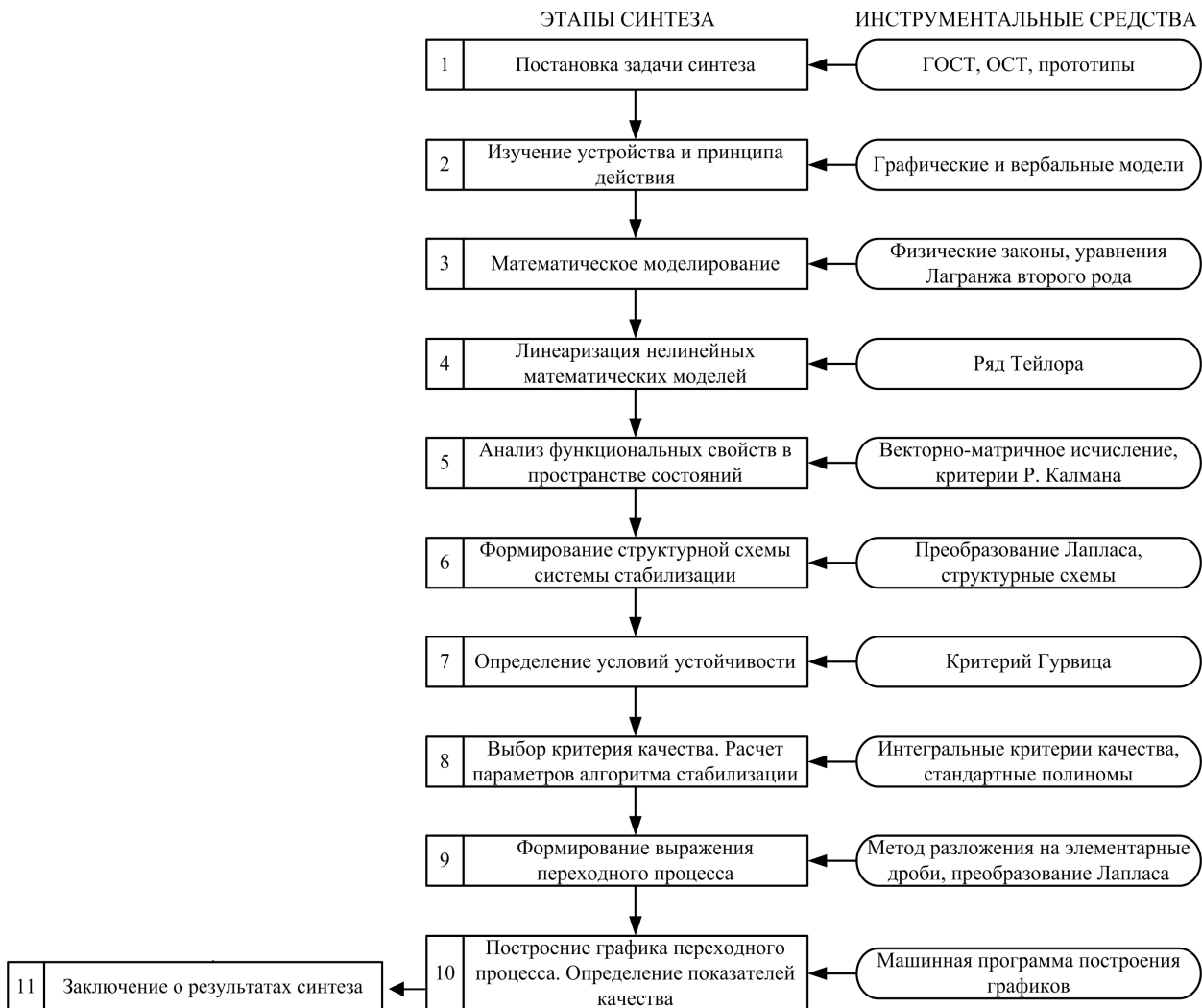


Рис. 7. Блок-схема технологического процесса синтеза

## 6. Пример параметрического синтеза алгоритма стабилизации обратного маятника

В исследованиях был использован макетный образец обратного маятника с винтовыми электроприводами со следующими значениями коэффициентов передаточных функций ОАС:  $\kappa_1 = 0,9 \frac{\text{рад}}{B \cdot c^2}$ ;

$$T_1 = 0,2 \text{ с}; c = 49 \frac{\text{рад}}{c^2}; \kappa_0 = 7,14 \frac{B}{\text{рад}}.$$

Из соотношений (42), получим:

$$\omega_n = 2,86; \kappa_4 = 2,07; \kappa_3 = 8,35. \quad (43)$$

Полученные значения удовлетворяют необходимым (35) и достаточным (36) условиям устойчивости.

Передаточная функция замкнутой системы при полученных значениях коэффициентов (43) будет иметь следующий вид:

$$\Phi_1(s) = \frac{U_\delta(s)}{U'_3(s)} = \frac{23,39}{s^3 + 5s^2 + 17,59s + 23,39}. \quad (44)$$

При ступенчатом задающем воздействии  $U'_3(s) = \frac{0,64}{s}$ , соответствующем отклонению маятника на  $5^\circ$ , изображение выходного сигнала

$$U_\delta(s) = \frac{15,03}{s(s^3 + 5s^2 + 17,59s + 23,39)}. \quad (45)$$

Характеристическому уравнению замкнутой системы удовлетворяют такие значения корней:

$$s_1 = -2,02; s_2 = -1,49 + j3,06; s_3 = -1,49 - j3,06.$$

Разложим изображение выходного сигнала на элементарные дроби:

$$U_\delta(s) = \frac{A}{s} + \frac{B}{s+2,02} + \frac{Ds+F}{s^2+2,98s+11,52}.$$

Выполнив соответствующие преобразования и вычисления, получим следующие значения коэффициентов:

$$A = 0,64; B = -0,37; D = -0,27; F = -1,55.$$

Применяя обратное преобразование к элементарным дробям, преобразованным к соответствующим табличным выражениям

$$u_\delta(t) = L^{-1} \left\{ \frac{0,64}{s} \right\} + L^{-1} \left\{ \frac{-0,37}{s+2,02} \right\} + L^{-1} \left\{ -0,27 \frac{s+1,49}{(s+1,49)^2 + 3,06^2} \right\} +$$

$$+ L^{-1} \left\{ -0,19 \cdot 3,06 / \left( (s+1,49)^2 + 3,06^2 \right) \right\},$$

получим выражение переходного процесса:

$$u_\delta(t) = 0,64 - 0,37e^{-2,02t} - 0,27e^{-1,49t} \cos(3,06t) - 0,19e^{-1,49t} \sin(3,06t). \quad (46)$$

С учетом коэффициента передачи предшествующего фильтра на вход системы нужно подать ступенчатое воздействие  $u_3(t) = 0,47 \cdot 1(t)$ , чтобы отклонить маятник на  $5^\circ$ .

График переходного процесса представлен на рис. 8.

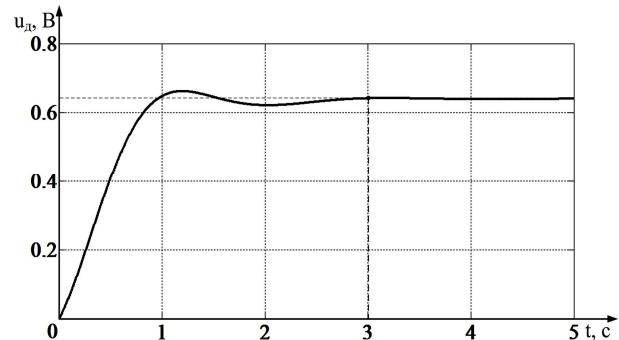


Рис. 8. График переходного процесса системы стабилизации

В установившемся режиме ошибка равна нулю. Время переходного процесса составляет – 3 с. Перерегулирование – 3,1 %. Переходный процесс соответствует минимальному значению интегрального критерия качества (38).

## Заключение

В результате проведенных исследований возможности стабилизации неустойчивых состояний обратного маятника с винтовыми электроприводами удалось сформировать технологический процесс параметрического синтеза алгоритмов стабилизации. В процессе исследований были получены различные модели обратного маятника как объекта автоматической стабилизации, отличающиеся от известных учетом динамических свойств винтовых электроприводов. Сформированы условия выбора параметров пропорционально-дифференциальной структуры алгоритмов стабилизации, обеспечивающие устойчивость и оптимальность переходного процесса по интегральному критерию взвешенного модуля ошибки.

Полученные результаты могут использоваться как в учебном процессе в разделах проектирования систем управления неустойчивых объектов, так и на этапах эскизного проектирования простейших автономных летательных аппаратов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боднер, В. А. Системы управления летательными аппаратами / В. А. Боднер. – М. : Машиностроение, 1973. – 504 с.
2. Разоренов, Г. Н. Системы управления летательными аппаратами [Текст] : учеб. для вузов / Г. Н. Разоренов, Э. А. Бахрамов, Ю. Ф. Титов ; под ред. Г. Н. Разоренова. – М. : Машиностроение, 2003. – 584 с.
3. Формальский, А. М. Управление движением неустойчивых объектов [Текст] / А. М. Формальский. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 232 с.



4. Кулик, А. С. Обеспечение отказоустойчивости систем управления статически неустойчивыми динамическими объектами [Текст] / А. С. Кулик, О. И. Гавриленко // Успехи совершенной радиоэлектроники. – 2004. – № 2. – С. 52–75.
5. Федосов, Б. Т. Управление неустойчивыми объектами. Обратный маятник. [Электронный ресурс] / Б. Т. Федосов. – Режим доступа: [http://model.exponenta.ru/bt/bt\\_152\\_Inv\\_Pend\\_control\\_1.htm](http://model.exponenta.ru/bt/bt_152_Inv_Pend_control_1.htm). – 28.07.2009 г.
6. Ряжских, В. И. Стабилизация обратного маятника на двухколесном транспортном средстве [Текст] / В. И. Ряжских, М. Е. Семенов, А. Г. Рукавицын, О. И. Канищева, А. А. Демчук, П. А. Мелешенко // Вестн. Южно-Ур. гос. ун-та. Серия «Математика. Механика. Физика». – 2017. – Т. 9, № 3. – С. 41 – 50.
7. Кулик, А. С. Методы моделирования объектов автоматического управления [Текст] : учеб. пособие / А. С. Кулик, С. Н. Пасичник. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2018. – 168 с.
8. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
9. Дорф, Р. Современные системы управления [Текст] : пер. с англ. / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М. : Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О. В. Козелков,  
Державний університет телекомунікацій, Київ  
Received (Надійшла) 29.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 09.01.2019

### Стабілізація нестійких станів зворотного маятника з гвинтовими електроприводами

А. С. Кулік, К. Ю. Дергачов, С. М. Пасичник, Ю. О. Немшилов

**Предметом** вивчення в статті є технологічний процес аналітичного синтезу алгоритмів стабілізації нестійких станів зворотного маятника з гвинтовими електроприводами. **Метою** є розробка технології оптимального аналітичного синтезу алгоритмів стабілізації нестійких станів зворотного маятника з гвинтовими електроприводами. **Завдання:** зформулювати фізичну модель зворотного маятника з гвинтовими електроприводами. Розробити за допомогою Лагранжевого формалізму нелінійну математичну модель зворотного маятника з гвинтовими електроприводами як об'єкту автоматичної стабілізації. Побудувати лінеаризовану математичну модель об'єкту автоматичної стабілізації у просторі станів. Проаналізувати функціональні властивості об'єкту автоматичної стабілізації. Сформулювати структурні схеми системи автоматичної стабілізації станів зворотного маятника з гвинтовими електроприводами. Отримати аналітичні співвідношення для обчислення оптимальних значень параметрів алгоритмів стабілізації нестійких станів зворотного маятника з гвинтовими електроприводами. Синтезувати для конкретного зворотного маятника з гвинтовими електроприводами алгоритм оптимальної стабілізації кутового положення. Використовуваними **методами** є: метод Лагранжа, аналітичної лінеаризації, простору станів, перетворення Лапласа. Отримані такі **результати**. Сформовано технологічний процес оптимального аналітичного синтезу алгоритмів стабілізації нестійких станів зворотного маятника з гвинтовими електроприводами. На конкретному числовому прикладі проілюстровано продуктивність запропонованого процесу аналітичного конструювання та інструментальних засобів для параметричного синтезу алгоритмів стабілізації зворотного маятника з гвинтовими електроприводами. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в такому: отримано різнотипні моделі зворотного маятника з гвинтовими електроприводами як об'єкту автоматичної стабілізації, що відрізняються від відомих урахуванням динамічних властивостей гвинтових електроприводів, які створюють керуючі моменти стабілізації. Сформовано умови вибору параметрів пропорційно-диференціальної структури алгоритмів стабілізації для забезпечення стійкості та оптимальності перехідного процесу замкненої системи стабілізації, що відрізняються від відомих специфікою формування керуючих моментів стабілізації за інтегральним критерієм зваженого модулю похибки.

**Ключові слова:** зворотний маятник, гвинтовий електропривод, об'єкт автоматичної стабілізації, алгоритм стабілізації, аналітичний синтез, стабілізація нестійких станів, інтегральний критерій зваженого модулю похибки.

### Unstable states stabilization of the reverse pendulum with screw actuators

A. Kulik, K. Dergachov, S. Pasichnik, Yu. Nemshilov

The **subject** of study in the article is the technological process for the analytical synthesis of stabilization algorithms for unstable states of a reverse pendulum with screw actuators. The **purpose** is to develop the technology of optimal analytical synthesis of stabilization algorithms for unstable states of a reverse pendulum with screw actuators. **Tasks:** to form the physical model of a reverse pendulum with screw actuators. To develop using the Lagrangian formalism nonlinear mathematical model of the reverse pendulum with screw electric actuators as the automatic stabilization object. Build the linearized mathematical model of the automatic stabilization object in the state space. To analyze the functional properties of the automatic stabilization object. To form the structural schemes of the states' stabilization automatic system for the reverse pendulum with screw actuators. To obtain analytical relations for calculating the optimal parameters values of the stabilization algorithms for unstable states of the reverse pendulum with screw actuators. To synthesize the optimal stabilization algorithm of the angular position for the specific reverse pendulum with screw electric actuators. The **methods** used are: Lagrange's method, analytic linearization, state space, Laplace's transformation. The following **results** were obtained. A technological process of optimal analytical synthesis of stabilization algorithms for unstable states of the reverse pendulum with screw actuators has been formed. The specific numerical example illustrates the productivity of the proposed process of analytical design and tools for the parametric synthesis of the stabilization algorithms for the reverse pendulum with screw actuators. **Conclusions.** The scientific novelty of the results is as follows: various models of the reverse pendulum with screw actuators are obtained as the automatic stabilization object, differing from those known for taking into account the dynamic properties of screw actuators that create control stabilization moments. The conditions for choosing the parameters of the proportional-differential structure of stabilization algorithms are formed to ensure the stability and optimality of the transition process of the close-loop stabilization system that differ from those known by the formation specifics of the stabilization control moments by the integral criterion of a weighted error modulus.

**Keywords:** reverse pendulum, screw actuator, automatic stabilization object, stabilization algorithm, analytical synthesis, unstable states stabilization, integral criterion for a weighted error modulus.

Л. О. Левченко<sup>1</sup>, М. М. Багрій<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

<sup>2</sup>Національний авіаційний університет, Київ, Україна

## МЕТОДИ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ

**Предметом** даного дослідження є процеси формування електромагнітної обстановки у виробничому середовищі в умовах впливу на неї джерел електромагнітних полів різних амплітудно-частотних характеристик. **Мета роботи** – розроблення методологічного підходу до попереднього оцінювання електромагнітної обстановки у приміщеннях різного призначення у залежності від типу та характеристик технологічного обладнання, параметрів електричних мереж та впровадження відповідних організаційно-технічних заходів захисту людей. Завданням дослідження є аналіз математичних методів розрахунку рівнів електромагнітних полів у залежності від поставлених задач та характеристик електромагнітних полів. **Використано** аналітичний метод оцінювання адекватності математичних функцій умовам формування електромагнітної обстановки. У роботі показано, що розрахункові та експериментальні методи не можуть бути використані окремо. Це пояснюється обов'язковою присутністю припущень та спрощень при моделюванні поширення електромагнітного поля навколо джерела та наявністю великих обсягів експериментальних даних за їх окремого використання. Зазначено, що більшість розроблених засобів оцінювання електромагнітної обстановки стосуються одного джерела поля або групи однотипних джерел, що не відповідає сучасним вимогам. **Надано** прикладний розрахунковий апарат для оцінювання зниження високочастотного електромагнітного поля неоднорідними (перфорованими) екрануючими поверхнями. Показано необхідність попереднього експериментального визначення електрофізичних властивостей використаних матеріалів для двокомпонентних захисних матеріалів. Зроблено **висновок**, що крім аналітичного оцінювання електромагнітної обстановки традиційними методами доцільним є розроблення програмно-технічного комплексу з моделювання поширення електромагнітного поля від джерела. Таке програмне забезпечення має враховувати геометричні характеристики приміщень та відбивні характеристики обмежуючих поверхонь.

**Ключові слова:** електромагнітне поле, електромагнітне навантаження, екранування, захисні властивості, шум.

### Вступ

Сучасні виробничі приміщення у багатьох випадках мають складну електромагнітну обстановку. Це обумовлено використанням у технологічних процесах електричного та електронного обладнання з різними амплітудно-частотними характеристиками генерованих електричних, магнітних та електромагнітних полів. При цьому у багатьох випадках електромагнітне навантаження на виробниче середовище підвищується за рахунок зовнішніх впливів – засобів мобільного зв'язку, ліній електропередачі, пристроїв розподілу електроенергії, електричного транспорту тощо. Це потребує розроблення та впровадження відповідних засобів захисту людей.

Найбільш ефективним з них є електромагнітні екрани. Але сучасні матеріали для екранування магнітних та електромагнітних полів мають велику вартість через складність технологій виготовлення, вартість компонентів. Тому, для раціоналізації організаційно-технічних заходів зі зниження впливу електромагнітних полів на людей необхідне попереднє оцінювання електромагнітної обстановки, що надасть змогу проектувати електромагнітні екрани на принципах розумної достатності захисних властивостей.

**Стан питання.** Проблематиці оцінювання потрібної ефективності матеріалів для зниження рівнів магнітних та електромагнітних полів приділяється багато уваги. Але у багатьох випадках розрахунковий апарат занадто складний для прикладного використання [1]. При цьому у більшості випадків дослідження стосується якогось одного джерела чи групи однотипних джерел [2, 3]. Це стосується навіть робіт з оптимізації електромагнітного навантаження на

середовище без втрати функціональних можливостей обладнання [4].

Ефективним засобом визначення потрібної ефективності засобів захисту є моделювання просторових розподілів електромагнітних полів навколо джерел [5, 6]. Досвід практичної роботи свідчить, що адекватність отриманих моделей не завжди задовільна. Це стосується навіть досліджень, у яких аналітичні методи поєднуються з експериментальними [7]. Для отримання чітких критеріїв достатності ефективності захисних матеріалів потрібні великі обсяги експериментальних робіт [8], що не завжди виправдане з економічних міркувань та часових витрат. Тому доцільно розглянути можливості розроблення прийнятних для використання фахівцями-практиками методів оцінювання електромагнітної обстановки у виробничому середовищі та надати рекомендації щодо їх застосування.

**Метою статті** є розроблення методологічного підходу до попередньої оцінки електромагнітної обстановки у приміщеннях різного призначення залежно від типу і характеристик використовуваного обладнання, параметрів електромережі та впроваджених організаційно-технічних заходів із захисту людей.

### Результати досліджень

Методики оцінки рівнів відповідних фізичних факторів умовно можна розділити на розрахунково-теоретичні та експериментальні. При цьому, як показує досвід, кожна з них не може бути використана у повному обсязі. Тобто, для виконання розрахунків необхідна наявність базових експериментальних даних (або припущень), а експериментальні дослідження потребують використання відповідного

математичного апарата для оброблення отриманих результатів та прогнозування змін обстановки залежно від часових та просторових факторів.

Особливістю задачі оцінки та прогнозування електромагнітної обстановки є різноманітність технічних засобів, які є джерелами полів, широкий спектр частот та різні їх прояви (наявність ближньої і хвильової зон) що особливо важливе для оцінки рівнів полів у обмежених просторах (приміщеннях).

На сьогодні досить добре розроблені електродинамічні моделі випромінювальних властивостей засобів радіозв'язку, радіомовлення та телебачення, лінійних джерел низькочастотних електромагнітних полів. Проте, електродинамічне моделювання побутової та офісної техніки залишається невіршеним на задовільному рівні. Не існує загальної концепції розрахункового прогнозування електромагнітної обстановки, яка б враховувала усю різноманітність наявних у приміщеннях джерел, а також специфіку їх просторової та часової локалізації.

Розрахунки квазістаціонарних полів від лінійних джерел, а також Т-подібних та Г-подібних розгалужень не викликають труднощів. Значно складніше отримати достовірні результати щодо джерел, локалізованих у просторі (електрогенератори, трансформатори тощо), особливо в умовах обмежених просторів. Методологічні підходи до використання неоднорідних екранів для захисту від шуму та електромагнітного випромінювання однакові і побудовані на дифракційних явищах. Різниця полягає у різній довжині падаючої хвилі. До визначеної частоти хвилі будь-який отвір (хвилевод) знижує (до певної міри) інтенсивність хвилі (частоти зрізу). Для електромагнітного випромінювання ця частота складає [11]:

– для круглого отвору:

$$f_{ПК} = 1,75 \cdot 10^5 / D, \text{ МГц}; \quad (1)$$

– для прямокутного отвору

$$f_{ПК} = 1,5 \cdot 10^5 / a, \text{ МГц}; \quad (2)$$

де  $D$  – діаметр, а – довжина прямокутного отвору.

Ефективність екранування для частот, нижчих за наведені, складає:

– для круглого отвору

$$A_{ПК} = 32 \cdot d / D; \quad (3)$$

– для прямокутного отвору

$$A_{ПК} = 27,3 \cdot d / a, \quad (4)$$

де  $d$  – товщина екрана.

Тобто, підвищити коефіцієнти поглинання можна за рахунок не просто збільшення товщини, а виготовлення отворів у вигляді хвилеводів.

Для екранування електромагнітних випромінювань більш низьких частот, для яких неможливо використовувати дифракційний ефект, використовують суцільні електромагнітні екрани. Для розрахунку коефіцієнтів екранування як загального, так внаслідок відбиття, доцільно взяти за основу фундаментальне співвідношення електродинаміки суцільних середовищ. Так, коефіцієнт ослаблення електромагнітної хвилі  $K_e$  (за потужністю) визначаються так:

$$K_e = \frac{(n+1)+\chi^2}{4n} \exp \frac{z\chi \cos \alpha}{c}; \quad (5)$$

Коефіцієнт відбивання  $K_B$  у випадку нормально падаючої хвилі визначається як:

$$K_B = \left( (n-1)^2 + \chi^2 \right) / \left( (n+1)^2 + \chi^2 \right), \quad (6)$$

де  $n$  – коефіцієнт заломлення матеріалу;  $\chi$  – товщина зразка;  $\omega$  – циклічна частота випромінювання;  $\chi$  – коефіцієнт екстинкції матеріалу, який визначає швидкість затухання хвилі;  $z$  – імпеданс матеріалу.

Коефіцієнти  $n$ ,  $\chi$  і  $z$  легко визначаються зі співвідношень дійсної і уявної частин комплексної діелектричної проникності матеріалу та електрофізичних властивостей матеріалу:

$$\chi = \sqrt{\frac{\varepsilon_1 + \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}}{2}} \quad \text{або} \quad \chi = \sqrt{\frac{\varepsilon_1 - \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}}{2}} \quad (7)$$

де:  $\varepsilon_1$  та  $\varepsilon_2$  – дійсна та уявна частини комплексної діелектричної проникності  $\varepsilon = \mu + j \cdot 4\pi\sigma/\omega$ .

$$Z = \sqrt{j\mu\omega / (\sigma + j\mu\omega)}, \quad (8)$$

де  $\sigma$  – питома проникність матеріалу;  $\mu$  – відносна магнітна проникність матеріалу;  $\varepsilon$  – діелектрична проникність матеріалу. Зазвичай, джерелами електромагнітних випромінювань є випромінювальні контури. Середня інтенсивність випромінювань контуру зі струмом  $I_{cp}$  розраховується так:

$$I_{cp} = \frac{S_0^2 \omega^4 t_0^2}{12\pi\varepsilon_0 c^5} \left| \frac{S^2 t^2}{12\pi\varepsilon_0 c} \right| \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right), \quad (11)$$

де  $S$  – площа контура;  $\lambda$  – довжина хвилі;  $J_0$  – амплітуда струму  $J = J_0 \sin \omega t$ . При цьому кутовий розподіл випромінювання від лінійного сегмента контуру, усередненого за часом, визначається так

$$\frac{dI}{d\Omega} = \frac{j_0^2}{8\pi^2 \varepsilon_0 c} \begin{cases} \sin^2((n\pi/2) \cdot \cos \Theta) / \sin^2 \Theta, & n - \text{парне}; \\ \cos^2((n\pi/2) \cdot \cos \Theta) / \sin^2 \Theta, & n - \text{непарне}, \end{cases}$$

де  $\Omega$  – тілесний кут;  $\Theta$  – кут між лінійним сегментом і напрямком до точки спостережень.

Недоліком методу є те, що для отримання чисельних результатів необхідне визначення чисельних значень магнітного та електричного моментів диполів, густин електрострумів тощо.

Виходячи з цього, найбільш доцільним методом оцінки електромагнітної обстановки у приміщеннях з багатьма однотипними джерелами є визначення параметрів одного з приладів і екстраполяція відповідних функцій. При цьому амплітудні значення відповідних полів є функціями відстаней і не потребують відомостей про інші параметри обладнання. Аналогічний підхід може бути використано для оцінки рівнів шуму, генерованого сукупністю технічних засобів, розташованих у приміщенні. При цьому можна використовувати як результати сертифікаційних випробувань обладнання, такі вимірювання, виконані для окремих приладів в лабораторних умовах, або у обстежуваному приміщенні за умови, що решту обладнання вимкнено. Припущення, використані при

розрахунках акустики приміщень – дифузне поле у приміщенні ізотопне та однорідне за умови, що у приміщенні відсутні фокусуєчі елементи, розмір приміщення більший за середню довжину хвилі, поглинальна здатність поверхонь не дуже велика – слухні і доцільні та не впливають на достовірність результату.

Розрахунки можливих рівнів електромагнітних полів та шуму у приміщеннях дозволяють провести попередню оцінку умов перебування людей за наявності визначеної кількості технічних засобів і прогнозувати зміну обстановки при збільшенні їх кількості. Важливим засобом зниження рівнів цих фізичних факторів, причому таким, що піддається попередній оцінці, є екранування та ослаблення полів оздоблювальними і спеціально призначеними для цього матеріалами. Фізичні механізми ослаблення електромагнітних та акустичних полів мають як принципові відмінності, так і спільні риси. Електромагнітні поля низької частоти можуть ослаблюватися або взагалі екрануватися провідними магнітом'якими матеріалами за рахунок генерації зустрічного поля, що впливає з фундаментальних фізичних принципів. Магнітні властивості феромагнітних матеріалів відомі, тому прогнозування ступеня екранування поля цілком можливе. Крім того, для зниження рівнів електромагнітних полів біля окремого приладу можливе використання явища дзеркального відбиття відносно провідної поверхні.

Таким чином, можливе попереднє планування організаційно-технічних заходів зі зниження рівнів електромагнітних полів як на окремих робочих місцях, так і у робочих та побутових приміщеннях.

Використання сучасних екрануючих матеріалів, таких як відпалені пермалой з високим вмістом нікелю (до 80 %) та магнітом'яких аморфних сплавів різного складу дозволяють послаблювати низькочастотні поля у 50 – 100 разів. Щодо високо- частотних полів, то їх екранування можливе за використання будь-якого провідного матеріалу. При цьому слід враховувати наявність вторинних полів (внаслідок відбиття від провідної поверхні), що буде розглянуто далі. Зменшення шумового навантаження у приміщеннях досягається за рахунок послаблення шуму окремих технічних засобів та зниження рівнів дифузного звукового поля. Зниження рівнів дифузного звукового поля досягається облицюванням стін, стелі та підлоги шумопоглинальними матеріалами із заздалегідь відомими коефіцієнтами поглинання. Максимальні ефекти досягаються у разі використання перфорованих поверхонь та клинових конструкцій. Ефекти поглинання обумовлені дифракційними явищами в отворах та відбиттям хвиль від боків клиноподібних поверхонь. При цьому частотні смуги поглинання обумовлюються розмірами отворів та величинами кутів клинів. Аналогічні конструкції використовуються для поглинання електромагнітних випромінювань. Пірамідальні або клиноподібні поглинальні елементи з малими кутами при вершинах ( $18^{\circ}$  –  $20^{\circ}$ )

мають досить широкий діапазон (0,03 – 40 ГГц) та високу ефективність поглинання (10 – 40дБ). Це надає можливість використання відповідних покриттів для одночасного поглинання електромагнітних та звукових хвиль. Частотні смуги поглинання визначаються швидкостями їх поширення у просторі. Так, наприклад, покриття однакових геометричних характеристик можуть одночасно поглинати електромагнітні випромінювання частотою 900 Гц та звукові хвилі частотою 1 кГц, електромагнітні частотою 2,4 ГГц – звукові частотою 2,7 кГц тощо. Розширення частотного діапазону одночасної дії захисних екранів можливе за умови використання кількох шарів матеріалу (як однорідних, так і з різними електромагнітними властивостями). При цьому пріоритетними є саме електромагнітні властивості.

За умови використання кількох шарів вони повинні підвищуватися від шару до шару за ефективністю у обраному частотному діапазоні. Умовою підвищення акустичних властивостей є створення зазорів між шарами екрана. Величини цих зазорів легко розраховуються з використанням стандартного математичного апарату.

## Висновки

1. Проведено аналіз переваг та недоліків розрахункових і експериментальних методів оцінки і прогнозування електромагнітної та акустичної обстановки в приміщеннях. Цей аналіз та експериментальні дослідження дозволяють дійти висновку, що одночасна оцінка та прогнозування електромагнітного і шумового навантаження як у окремих приміщеннях, так і у будівлях в цілому можливі і доцільні.

2. Ступінь достовірності результатів залежить від коректності визначення попередніх умов і припущень та точності базових експериментальних даних навантаження на силову електромережу, випромінювальні властивості технічних засобів тощо.

3. Використання виключно аналітично- розрахункових методів (моделювання окремих джерел і електромагнітних та акустичних полів, які вони генерують) трудомістке і не забезпечує достатність відомостей щодо очікуваної електромагнітної та акустичної обстановок та просторових розподілів полів у приміщеннях.

4. Найбільш доцільними є попереднє визначення випромінювальних властивостей одного з однотипних технічних засобів та подальший розрахунок електромагнітних полів та рівнів шуму в необхідних точках приміщень.

5. Необхідним є розроблення та тестування в реальних умовах програмно-технічного комплексу з моделювання розподілу електромагнітних полів від джерел з відомими випромінювальними властивостями та просторово-часовими змінами генерованих полів. Програмне забезпечення має враховувати геометричні параметри приміщень, відбивні характеристики обмежуючих поверхонь тощо.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Резинкина М.М. Численное исследование магнитного поля разномерных объектов / М.М. Резинкина, В.С. Гринченко, Л.Э. Лобжанидзе // Техн. электродинамика. – К., - 2010. –Ч.1. – С. 189-192.

2. Khalifa T. Electromagnetic Pollution Emitted from Base Station. // International Journal of Science and Research / A. Alnabi // International Journal of Science and Research. – 2015. – Vol. 4. – P. 1125 – 132.
3. Мордачев В.И. Электромагнитная нагрузка на территорию в неоднородной радиоэлектронной обстановке / В.И. Мордачев // Доклады белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2012. – № 8(70). – С. 23 – 31.
4. Мордачев В.И. Необходимый и достаточный уровень мощности электромагнитного излучения базовых станций сети GSM / В.И. Мордачев, А.С. Свистунов // Доклады белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. – 2013. – № 7. – С. 44 – 50.
5. Подольцев А.Д. Многомасштабное моделирование в электротехнике / А.Д. Подольцев, И.Н. Кучерявая. – К.: Институт электродинамики НАН Украины, 2011. – 255 с.
6. Скобликов Ю.А. Результаты моделирования процесса проникновения электрического поля внутрь структурно-неоднородного электромагнитного экрана / Ю.А. Скобликов // Электротехніка і Електромеханіка. – 2011. – №. 4 – С 66 – 71.
7. Kasar V. A Novel Approach to Electromagnetic Interference Shielding for Cell Phones / V. Kasar, A. Pawar // International Journal of Science and Research. – 2014. – Vol. 3. – P. 1869 – 1872.
8. Singh J. Computer Generated Energy Effects on Users and Shielding Interference / J. Singh // International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering. – 2015. Vol. 3. – P. 10022 – 10027.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В. А. Глива,  
Національний авіаційний університет, Київ  
Received (Надійшла) 28.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.01.2019

### Методы предварительной оценки электромагнитной обстановки для проектирования средств защиты

Л. А. Левченко, М. М. Багрий

Предметом данного исследования являются процессы формирования электромагнитной обстановки в производственной среде в условиях воздействия на нее источников электромагнитных полей различных амплитудно-частотных характеристик. Цель работы - разработка методологического подхода к предварительной оценке электромагнитной обстановки в помещениях различного назначения в зависимости от типа и характеристик технологического оборудования, параметров электрических сетей и внедрение соответствующих организационно-технических мер защиты людей. Задачей исследования является анализ математических методов расчета уровней электромагнитных полей в зависимости от поставленных задач и характеристик, электромагнитных полей. Использован аналитический метод оценки адекватности математических функций условиям формирования электромагнитной обстановки. В работе показано, что расчетные и экспериментальные методы не могут быть использованы отдельно. Это объясняется обязательным присутствием предположений и упрощений при моделировании распространения электромагнитного поля вокруг источника и наличием больших объемов экспериментальных данных для их отдельного использования. Отмечено, что большинство разработанных средств оценки электромагнитной обстановки касаются одного источника поля или группы однотипных источников, что не отвечает современным требованиям. Предоставлено прикладной расчетный аппарат для оценки снижения высокочастотного электромагнитного поля неоднородными (перфорированными) экранирующими поверхностями. Показана необходимость предварительного экспериментального определения электрофизических свойств использованных материалов для двухкомпонентных защитных материалов. Сделан вывод, что кроме аналитического оценивания электромагнитной обстановки традиционными методами целесообразным является разработка программно-технического комплекса по моделированию распространения электромагнитного поля от источника. Такое программное обеспечение должно учитывать геометрические характеристики помещений и отражательные характеристики ограничивающих поверхностей.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, электромагнитная нагрузка, экранирование, защитные свойства, шум.

### Methods of the previous evaluation of electromagnetic situation for projecting protecting means

L. Levchenko, M. Bahrii

The sub of this study is the formation of the electromagnetic environment in the production environment in terms of exposure to it to sources of electromagnetic fields of different amplitude-frequency characteristics. The aim of the work is to develop a methodological approach to the preliminary assessment of the electromagnetic environment in various premises depending on the type and characteristics of the process equipment, electrical network parameters and the introduction of appropriate organizational and technical measures to protect people. The task of the study is to analyze mathematical methods for calculating the levels of electromagnetic fields, depending on the tasks and characteristics of electromagnetic fields. An analytical method to assess the adequacy of mathematical functions for the formation of an electromagnetic environment was used. The paper was shown that computational and experimental methods cannot be used separately. This is due to the mandatory presence of assumptions and simplifications in modeling the propagation of an electromagnetic field around a source and the presence of large amounts of experimental data for their separate use. It is noted that most of the developed tools for assessing the electromagnetic environment relate to a single field source or a group of sources of the same type, which does not meet modern requirements. An applied calculating device for estimating the reduction of a high-frequency electromagnetic field by non-uniform (perforated) shielding surfaces is provided. Based on the ratios of electrodynamics of continuous media, the calculating apparatus is presented to determine the influence on the electromagnetic environment of continuous electromagnetic screens. It is noted that electromagnetic screens, if necessary, can be used to protect against noise and provide numerous data. It was concluded that in addition to the analytical assessment of the electromagnetic environment by traditional methods, it is expedient to develop a software and hardware complex for modeling the propagation of an electromagnetic field from a source. Such software should take into account the geometric characteristics of the premises and the reflective characteristics of the bounding surfaces.

**Keywords:** electromagnetic field, electromagnetic load, shielding, protective properties, noise.

Б. А. Лісогорський, І. А. Таран, Г. В. Худов

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

## ІМІТАЦІЙНЕ СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРАЕКТОРНИХ ВИМІРЮВАНЬ У БАГАТОПОЗИЦІЙНОМУ РАДІОЛОКАЦІЙНОМУ КОМПЛЕКСІ КОНТРБАТАРЕЙНОЇ БОРОТЬБИ

**Предметом** вивчення в статті є метод імітаційного статистичного моделювання траекторних вимірювань у багато-позиційному радіолокаційному комплексі контрбатарейної боротьби. **Метою** є проведення імітаційного статистичного моделювання траекторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі контрбатарейної боротьби. **Завдання:** визначення точності вимірювання місцеположення вогневого стріляючого засобу; для заданого місцеположення вогневого стріляючого засобу провести розрахунок параметрів траекторії польоту об'єкту (міни, снаряду) при веденні вогню по визначеній цілі; моделювання вектору вимірювань координат об'єкту (міни, снаряду) вогневого стріляючого засобу на траекторії його польоту (вектору траекторних вимірювань) з урахуванням випадкових помилок траекторних вимірювань. Використовуваними **методами** є: методи теорії імовірності, математичної статистики, методи оптимізації, імітаційного статистичного моделювання. Отримані такі **результати**. Визначені точності вимірювання місцеположення вогневого стріляючого засобу. Для заданого місцеположення вогневого стріляючого засобу проведено розрахунок параметрів траекторії польоту об'єкту (міни, снаряду) при веденні вогню по визначеній цілі. Проведено моделювання вектору вимірювань координат об'єкту (міни, снаряду) вогневого стріляючого засобу на траекторії його польоту (вектору траекторних вимірювань) з урахуванням випадкових помилок траекторних вимірювань. **Висновки.** Запропоновані підходи щодо імітаційного статистичного моделювання траекторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі контрбатарейної боротьби. З використанням розроблених підходів можливо визначити матрицю траекторних вимірювань з урахуванням помилок вимірювання координат об'єкту (міни, снаряду) на траекторії на різних пунктах прийому багатопозиційного радіолокаційного комплексу контрбатарейної боротьби. Напрямоком подальших досліджень є розробка підходів щодо інших кроків імітаційного статистичного моделювання траекторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі контрбатарейної боротьби.

**Ключові слова:** імітаційне статистичне моделювання, траекторні вимірювання, багатопозиційний комплекс, контрбатарейна боротьба, помилка траекторних вимірювань, міна, снаряд.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Досвід участі Збройних Сил (ЗС) України в операції Об'єднаних сил та антитерористичній операції свідчить про широке використання мінометів та артилерійських систем при обстрілі позицій військ та житлових кварталів, при цьому набула поширення тактика застосування кочівних вогневих засобів [1]. Розвідка вогневих позицій кочівних артилерійських систем може здійснюватися декількома способами [1-3]:

- веденням повітряної та космічної розвідки;
- веденням звукової розвідки;
- веденням наземної радіолокаційної розвідки;
- веденням оптичної розвідки;
- веденням військової розвідки (засиланням розвідувальних дозорів та груп) або використанням агентури.

Найбільш ефективним способом розвідки вогневих позицій кочівних мінометних та артилерійських систем є ведення радіолокаційної розвідки станціями контрбатарейної боротьби (КББ) [4], що дозволяє в багатьох випадках отримати прийнятний рівень точності визначення координат позицій мінометів та артилерійських систем для подальшого їх знищення або придушення в ході КББ. В той же час, в деяких випадках рівень точності не є достатнім, що потребує пошуку нових підходів щодо підвищення ефективності застосування радіолокаційних станцій КББ.

**Мета статті** – викладення методики імітаційного статистичного моделювання траекторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі КББ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз методів визначення координат об'єктів проводився в [5-8] при визначенні координат повітряних цілей радіолокаційними засобами розвідки повітряного противника, в [9] при визначенні координат космічних об'єктів та в [10, 11] при визначенні координат джерел сейсмічних збурень. Основні підходи, що запропоновані в наведених джерелах, можливо застосувати для оцінювання точності визначення позицій стріляючих вогневих засобів радіолокаційними станціями (РЛС) КББ. В той же час задача, що запропонована для вирішення, має певну специфіку, що потребує розробки відповідних методик. РЛС КББ, що застосовувались Збройними Силами України в ході ведення бойових дій на сході України (АН/ТРQ-36, АН/ТРQ-48), показали високу надійність та забезпечували виконання завдань КББ [4, 12, 13]. В той же час, в деяких випадках координати позицій стріляючих вогневих засобів вимірювалися з низькою точністю. Особливо це проявлялось при проведенні вимірювань з граничних відстаней.

В роботі проведені дослідження, що направлені на вироблення підходів щодо підвищення точності вимірювань координат стріляючих вогневих засобів існуючими радіолокаційними засобами КББ. Одним з основних шляхів цього, на думку авторів, являється використання багатопозиційної локації, що по-

перше, дозволить підвищити точність первинних (траекторних) вимірювань координат мін та снарядів, і, як наслідок, підвищить і точність вимірювань координат стріляючих вогневих засобів; по-друге, підвищить надійність комплексу КББ. Для підтвердження зроблених припущень необхідно розробити математичний апарат, який дозволить оцінити точність локації стріляючих вогневих засобів багатопозиційним радіолокаційним комплексом КББ. Запропоноване використання імітаційного статистичного моделювання траекторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі КББ. Проведені дослідження вказали на необхідність послідовного проведення чотирьох кроків при вирішенні даного завдання: спочатку необхідно провести моделювання вимірювань координат об'єкту (міни, снаряду) на траекторії польоту (траекторних вимірювань) в залежності від точності первинних вимірювань та просторової структури угруповання РЛС (далі – приймачів) КББ; після цього необхідно оцінити координати позицій вогневих засобів з використанням результатів, отриманих на першому кроці. Третій крок являє собою багаторазове повторення перших двох кроків та отримання вектору оцінок координат вогневого засобу. На четвертому кроці здійснюється статистична обробка отриманих оцінок та отримання параметрів еліпсу розсіювання.

### Основна частина

#### 1. Розрахунок матриці спостережень.

1.1. Розрахунок масиву координат "точних" значень координат об'єкту (міни, снаряду) (далі – снаряду)  $x(t_i), y(t_i), z(t_i)$  в деякі моменти часу  $t_i$ .

*Вхідні дані* (рис. 1):  $\alpha_A$  - азимут вильоту снаряду;  $\beta_A$  - кут місця вильоту;  $x_A, y_A, z_A$  – координати точки А вильоту снаряду.

*Вихідні дані*: "точні" значення координат снаряду  $x(t_i), y(t_i), z(t_i)$  в моменти часу  $t_i$ .

Якщо не враховувати опір повітря, то координати D і z снаряду визначаються як:

$$D(t) = V_0 \cdot \cos \beta_A \cdot t, \quad (1)$$

$$z(t) = V_0 \cdot \sin \beta_A \cdot t - g \cdot t^2 / 2. \quad (2)$$

Час  $T_B$  польоту снаряду до точки В можна розрахувати як

$$T_B = 2 \cdot V_0 \cdot \sin \beta_A / g. \quad (3)$$

Як видно з рис. 1,

$$x(t_i) = x_A + D(t_i) \cdot \cos \alpha_A = x_A + V_0 \cdot \cos \beta_A \cdot \cos \alpha_A \cdot t_i,$$

$$y(t_i) = y_A + D(t_i) \cdot \sin \alpha_A = y_A + V_0 \cdot \cos \beta_A \cdot \sin \alpha_A \cdot t_i.$$

$$z(t_i) = V_0 \cdot \sin \beta_A \cdot t_i - g \cdot t_i^2 / 2. \quad (4)$$

#### 1.2. Розрахунок масиву "точних" значень азимуту, кута місця і нахильної дальності.

*Вхідні дані*:  $X_{pp}, Y_{pp}, Z_{pp}$  – масиви координат пунктів прийому; "точні" значення координат снаряду  $x(t_i), y(t_i), z(t_i)$  моменти часу  $t_i$ , отримані на кроці 1.1.

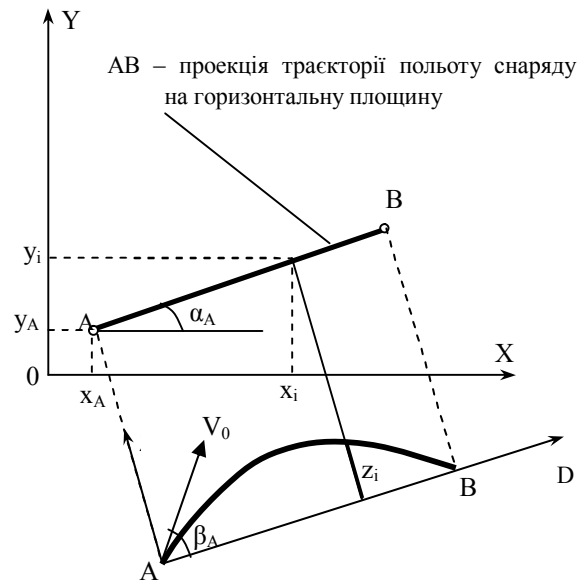


Рис. 1. Визначення "точних" значень координат об'єкту (міни, снаряду)

*Вихідні дані*: масив "точних" значень азимуту, кута місця і нахильної дальності (матриця U) з елементами  $\alpha_{n,i}, \beta_{n,i}, D_{n,i}$ , де  $n$  - номер пункту прийому.

Розрахунок елементів матриці U проводимо з використанням співвідношень (рис. 2):

$$\alpha_{n,i} = \arctg \frac{y(t_i) - Y_{ppn}}{x(t_i) - X_{ppn}}, \quad (5)$$

$$\beta_{n,i} = \arctg \frac{z(t_i) - Z_{ppn}}{\sqrt{(x_i - X_{ppn})^2 + (y_i - Y_{ppn})^2}}, \quad (6)$$

$$D_{n,i} = \sqrt{(x_i - X_{ppn})^2 + (y_i - Y_{ppn})^2 + (z_i - Z_{ppn})^2}. \quad (7)$$

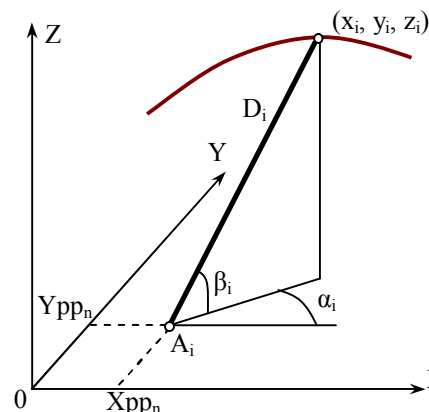


Рис. 2. Визначення елементів матриці U

#### 1.3. Моделювання помилок первинних вимірювань $\partial \alpha_{n,i}, \partial \beta_{n,i}, \partial D_{n,i}$ і внесення цих помилок в матрицю U, отримання матриці спостережень $\tilde{U}$ .

*Вхідні дані*: масив "точних" значень азимуту, кута місця і нахильної дальності (матриця U) з елементами  $\alpha_{n,i}, \beta_{n,i}, D_{n,i}$ , отриманий на кроці 1.2;

значення математичних очікувань  $\bar{\alpha}_{n,i}$ ,  $\bar{\beta}_{n,i}$  та  $\bar{D}_{n,i}$  та середньоквадратичних відхилень  $\sigma_{\alpha_{n,i}}$ ,  $\sigma_{\beta_{n,i}}$  та  $\sigma_{D_{n,i}}$  помилок первинних вимірювань

*Вихідні дані:* матриця спостережень  $\tilde{U}$  (оцінки азимуту  $\alpha_{n,i}$ , кута місця  $\beta_{n,i}$  та нахильної дальності  $D_{n,i}$ ).

**2. Отримання векторів оцінок координат положень снаряду**  $\xi_i = (x(t_i), y(t_i), z(t_i))^T$  в момент часу  $t_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

*Вхідні дані:* оцінки азимуту  $\alpha_{n,i}$ , кута місця  $\beta_{n,i}$  та нахильної дальності  $D_{n,i}$ , що отримані для  $i$ -го моменту часу на  $N$  пунктах прийому.

*Вихідні дані:* вектор  $\xi^{<i>} = (x(t_i), y(t_i), z(t_i))^T$ .

Порядок розрахунку. Поставимо завдання знаходження оцінки максимальної вірогідності координат снаряду. Будемо вважати, що в точці  $C_i$  траєкторії з невідомими координатами  $x_i, y_i, z_i$  в момент часу  $t_i$  знаходиться снаряд, і в  $N$  пунктах прийому в цей момент часу вимірюються азимуту, кути місця і нахильні дальності на точку  $C_i$ . В результаті формується вектор спостережень  $U_i$  розмірності  $M - U_i = (\alpha_{1i}, \beta_{1i}, D_{1i}, \dots, \alpha_{Ni}, \beta_{Ni}, D_{Ni})^T$ . Вектор невідомих координат снаряду в момент часу  $t_i$   $\xi_i = (x(t_i), y(t_i), z(t_i))^T$  являє собою вектор стану.

У відповідності зі зробленими припущеннями:

$\tilde{\alpha}_{n,i} = \alpha_{n,i} + \delta\alpha_{n,i}$ ,  $\tilde{\beta}_{n,i} = \beta_{n,i} + \delta\beta_{n,i}$ ,  $\tilde{D}_{n,i} = D_{n,i} + \delta D_{n,i}$ , де  $\alpha_{n,i}, \beta_{n,i}, D_{n,i}$  - "точні" значення азимуту, кута місця і нахильної дальності, відповідно, що виміряні  $n$ -м пунктом прийому в  $i$ -му положенні снаряду на траєкторії, що визначаються за формулами (5), (6), (7).

або у матричному вигляді

$$\Delta U_{i,j} = U_i - U_j, \quad (8)$$

Для моделі вимірювань, що задана виразом (8), функція вірогідності вектора вимірювань є така:

$$L(U_i, \zeta_i) = \text{const} \cdot e^{-\frac{1}{2}[U_i - U(\zeta_i)]^T \cdot K_{R,i}^{-1} \cdot [U_i - U(\zeta_i)]}, \quad (9)$$

де  $K_{R,i}$  - кореляційна матриця ( $M \times M$ ) помилок  $i$ -го первинного вимірювання, а через константу позначений множник перед експонентою, який не залежить від  $\zeta_i$  та  $U_i$ . Максимум функції вірогідності досягається при мінімізації по  $\zeta_i$  квадратичної форми  $J(\zeta_i) = [U_i - U(\zeta_i)]^T \cdot K_{R,i}^{-1} \cdot [U_i - U(\zeta_i)]$ :

$$J = \min_{\xi_i} [U_i - U(\zeta_i)]^T \cdot K_{R,i}^{-1} \cdot [U_i - U(\zeta_i)], \quad (10)$$

а необхідна умова мінімуму квадратичної форми  $J$ :

$$\frac{\partial J}{\partial \xi_i} = -2 \frac{\partial U^T(\xi_i)}{\partial \xi_i} K_{R,i}^{-1} [U_i - U(\xi_i)] = 0 \quad (11)$$

є системою рівнянь для визначення оцінки  $\xi_i$ .

Рівняння системи (8) нелінійні і для знаходження коренів системи в загальному випадку необхідно використовувати чисельні (ітераційні) методи.

Задаємо початкове наближення вектора координат снаряду в момент часу  $t_i$  як

$$\xi_i^{<0>} = (x(t_i)^{<0>}, y(t_i)^{<0>}, z(t_i)^{<0>})^T.$$

Відхилення параметрів, що вимірюються, заданих вектором спостереження  $U_i$ , від розрахункових, визначених для вектора початкового наближення, опишемо вектором нев'язок  $\Delta U^{<0>}$ , який визначимо як:

$$\Delta U_i^{<0>} = U_i - U(\xi_i^{<0>}). \quad (12)$$

Розкладаємо вектор  $U(\xi_i^{<0>})$  в ряд Тейлора навколо точки початкового наближення. Якщо не враховувати похідні порядків, вищих від першого, то:

$$U(\zeta_i) = U(\xi_i^{<0>}) + \frac{\partial U(\zeta_i^{<0>})}{\partial \zeta_i^{<0>}} (\zeta_i - \xi_i^{<0>})$$

$$\text{або} \quad U(\xi_i) - U(\xi_i^{<0>}) = \frac{\partial U(\zeta_i^{<0>})}{\partial \zeta_i^{<0>}} (\zeta_i - \xi_i^{<0>}).$$

З урахуванням (8):

$$(U_i - \Delta U_{i,j}) - U(\xi_i^{<0>}) = \frac{\partial U(\zeta_i^{<0>})}{\partial \zeta_i^{<0>}} (\zeta_i - \xi_i^{<0>}),$$

і з урахуванням (12):

$$\Delta U_i^{<0>} = U_i - U(\xi_i^{<0>}) = \frac{\partial U(\zeta_i^{<0>})}{\partial \zeta_i^{<0>}} (\zeta_i - \xi_i^{<0>}) + \Delta U_{i,j}.$$

Введемо позначення:

$$\Delta \zeta_i^{<0>} = (\zeta_i - \xi_i^{<0>}) = \begin{pmatrix} x_i - x_i^{<0>} \\ y_i - y_i^{<0>} \\ z_i - z_i^{<0>} \end{pmatrix},$$

$$B_i^{<0>} = \frac{\partial U(\zeta_i^{<0>})}{\partial \zeta_i^{<0>}} =$$

$$= \begin{pmatrix} \left. \frac{\partial \alpha_{1,i}}{\partial x_i} \right|_{x_i=x_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial \alpha_{1,i}}{\partial y_i} \right|_{y_i=y_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial \alpha_{1,i}}{\partial z_i} \right|_{z_i=z_i^{<0>}} \\ \left. \frac{\partial \beta_{1,i}}{\partial x_i} \right|_{x_i=x_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial \beta_{1,i}}{\partial y_i} \right|_{y_i=y_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial \beta_{1,i}}{\partial z_i} \right|_{z_i=z_i^{<0>}} \\ \left. \frac{\partial D_{1,i}}{\partial x_i} \right|_{x_i=x_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial D_{1,i}}{\partial y_i} \right|_{y_i=y_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial D_{1,i}}{\partial z_i} \right|_{z_i=z_i^{<0>}} \\ \dots & \dots & \dots \\ \left. \frac{\partial D_{N,i}}{\partial x_i} \right|_{x_i=x_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial D_{N,i}}{\partial y_i} \right|_{y_i=y_i^{<0>}} & \left. \frac{\partial D_{N,i}}{\partial z_i} \right|_{z_i=z_i^{<0>}} \end{pmatrix}.$$



Порядок обчислення елементів матриці  $B_i^{<0>}$  наведений в [14]. З урахуванням введених позначень вираз (12) перетворюється у:

$$\Delta U_i^{<0>} = B_i^{<0>} \cdot \Delta \zeta_i^{<0>} + \Delta U_i^{<0>}$$

Звідси

$$\Delta U_i^{<0>} = \Delta U_i^{<0>} - B_i^{<0>} \cdot \Delta \zeta_i^{<0>} \quad (13)$$

З урахуванням виразів (11), (13) необхідна умова максимуму функції вірогідності (9) по параметрам, що оцінюються, набуває вигляду

$$(B_i^{<0>})^T K_{Ri}^{-1} (\Delta U_i^{<0>} - B_i^{<0>} \cdot \Delta \zeta_i^{<0>}) = 0, \quad (14)$$

звідси

$$\Delta \zeta_i^{*<0>} = ((B_i^{<0>})^T K_{Ri}^{-1} B_i^{<0>})^{-1} (B_i^{<0>})^T K_{Ri}^{-1} \Delta U_i^{<0>}, \quad (15)$$

де  $((B_i^{<0>})^T K_{Ri}^{-1} B_i^{<0>})^{-1}$  – оцінка кореляційної матриці помилок визначення координат снаряду в точці  $\zeta_i^{<0>}$ .

В рівняннях (14) та (15)

$$\Delta \zeta_i^{*<0>} = (\partial x_i^{*<0>}, \partial y_i^{*<0>}, \partial z_i^{*<0>})^T -$$

оптимальна оцінка поправок до початкового наближення координат снаряду, визначена по вектору спостережень  $U_i$ .

Уточнення місцеположення снаряду здійснюємо в ітераційному циклі, при цьому у якості початкового наближення координат снаряду на  $k$ -й ітерації використовується оцінка координат, що отримана шляхом введення поправок, розрахованих за виразом (12) на  $(k-1)$ -й ітерації. На  $k$ -й ітерації маємо:

$$\zeta_i^{<k>} = \zeta_i^{<k-1>} + \Delta \zeta_i^{*<k>},$$

де  $\zeta_i^{<k>}$  – оцінка координат снаряду в момент часу  $t_i$ , що отримана на  $k$ -й ітерації;  $\Delta \zeta_i^{*<k>}$  – поправка

до початкового наближення на  $k$ -й ітерації;  $\hat{\zeta}_i^{<k-1>}$  – оцінка координат снаряду на  $(k-1)$ -й ітерації.

На кожній ітерації перераховуємо матриці часткових похідних  $B_i^{<k>}$  і вектора нев'язок  $\Delta U_i^{<k>}$  для нового значення початкового наближення.

Ітераційний процес виконуємо до тих пір, доки поправки

$$\Delta \zeta_i^{*<k>} = (\partial x_i^{*<k>}, \partial y_i^{*<k>}, \partial z_i^{*<k>})^T$$

на деякій  $k$ -й ітерації не виявляться по всім компонентам менше деякої раніше заданої малої величини  $\delta_\zeta$ :

$$\partial x_i^{*<0>} < \delta_\zeta, \partial y_i^{*<0>} < \delta_\zeta, \partial z_i^{*<0>} < \delta_\zeta.$$

### Висновки і напрямки подальших досліджень

Таким чином, запропоновані підходи щодо імітаційного статистичного моделювання траєкторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі КББ.

З використанням розроблених підходів можливо визначити матрицю траєкторних вимірювань з урахуванням помилок вимірювання координат снаряду на траєкторії на різних пунктах прийому багатопозиційного радіолокаційного комплексу КББ.

Подальші дослідження мають бути направлені на розробку підходів щодо інших кроків імітаційного статистичного моделювання траєкторних вимірювань у багатопозиційному радіолокаційному комплексі КББ, а саме:

оцінювання координат позицій вогневих засобів з використанням результатів, отриманих на першому кроці;

багаторазове повторення перших двох кроків та отримання вектору оцінок координат вогневого стріляючого засобу;

статистичну обробку отриманих оцінок та отримання параметрів еліпсу розсіювання.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Худов Г.В. Радіолокаційні засоби розвідки позицій кочівних мінометів / Г.В.Худов, Б.А.Лісогорський, В.Я.Боркульник // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2014. – № 3 (39). – С. 68–72.
2. Мусиенко А. Опыт боевого применения минометов / А.Мусиенко. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://fastmarksman.ru/1\\_pyt/2\\_spcnaz\\_8.php](http://fastmarksman.ru/1_pyt/2_spcnaz_8.php).
3. Красюк О.П. Розвідувальне забезпечення артилерії в локальних війнах та збройних конфліктах кінця ХХ – початку ХХІ століття / О.П.Красюк // Військово-науковий вісник Академії Сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. – 2012. – Вип. 18. – С. 339–347.
4. Худов Г.В. Аналіз характеристик радіолокаційних станцій контрбатареїнної боротьби // Г.В. Худов, Б.А. Лісогорський / Системи озброєння і військова техніка, 2014. – Х.:ХУПС. – № 4 (40). – С. 50-54.
5. Черняк В.С. Многопозиционная радиолокация / В.С. Черняк. – М.: Радио и связь, 1993. – 416 с.
6. Черняк В.С. Многопозиционные радиолокационные системы на основе ММО РЛС / В.С. Черняк // Успехи современной радиоэлектроники. – 2012. – №8. – С. 29 – 46.
7. Дудуш А.С. Определение пространственных координат целей в многопозиционных радиолокационных системах на основе ММО РЛС / А.С.Дудуш // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 5 (112). – С. 29-33.
8. Седишев Ю.М. Об'єднання РЛС метрової діапазону хвиль в багатопозиційні радіолокаційні системи / Ю.М.Седишев, А.С.Дудуш // Наука і техніка Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2013. – № 3 (12). – С. 83-88.
9. Березина С.И. Оценка ошибок определения местоположения сейсмического источника с использованием имитационного статистического моделирования / С.И.Березина, И.А.Таран // Восточный европейский журнал передовых технологий. – Вип. 4 (4), 2003. – С 13-15.

10. Таран И.А. Оценка потенциальной точности совместного определения координат источника сейсмических возмущений и скорости распространения сейсмической волны сейсмическими разведывательно-сигнализационными приборами / И.А.Таран // Збірник наукових праць ХВУ. – Вип. 3 (46), 2003. – С. 84-86.
11. Пастушенко Н.С. Совершенствование методов определения местоположения сейсмического источника / Н.С. Пастушенко, А.И. Солонец, И.А. Таран // Системи обробки інформації / Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 10 (37). – 248 с.
12. Крупников А. Радиолокационные станции контрбатареиной борьбы основных зарубежных стран // А. Крупников / Зарубежное военное обозрение, 2010. - № 12. – С. 32-41.
13. Кучук, Г.А. Концептуальний підхід до синтезу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук, І.В. Рубан, О.П. Давікоза // Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: ХУ ПС, 2013. – Вип. 7 (114). – С. 106 – 112.
14. Лисогорський Б.А., Таран І.А., Худов Г.В. Оцінка потенційної точності траєкторних вимірювань в багатопозиційній системі радіолокаційних станцій контрбатареиной боротьби // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ, 2017. – № 6(46). – С. 49–52.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.В. Барабаш,  
Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ  
Received 11.10.2018  
Accepted for publication 16.01.2019

### **Имитационное статистическое моделирование траекторных измерений в многобазовом радиолокационном комплексе контрбатареиной борьбы**

Б. А. Лисогорский, И. А. Таран, Г. В. Худов

**Предметом** изучения в статье есть метод имитационного статистического моделирования траекторных измерений в многопозиционном комплексе контрбатареиной борьбы. **Целью** является проведение имитационного статистического моделирования траекторных измерений в многопозиционном радиолокационном комплексе контрбатареиной борьбы. **Задачи:** определение точности измерения местоположения огневого стреляющего средства; для заданного местоположения огневого стреляющего средства проведение расчета параметров траектории полета объекта (мины, снаряда) при ведении огня по определенной цели; моделирование вектора измерений координат объекта (мины, снаряда) огневого стреляющего средства на траектории его полета (вектора траекторных измерений) с учетом случайных ошибок траекторных измерений. Используемыми **методами** являются: методы теории вероятности, математической статистики, методы оптимизации, имитационного статистического моделирования. Получены следующие **результаты**. Определены точности измерения местоположения огневого стреляющего средства. Для заданного местоположения огневого стреляющего средства проведен расчет параметров траектории полета объекта (мины, снаряда) огневого стреляющего средства при ведении огня по определенной цели. Проведено моделирование вектора измерений координат объекта (мины, снаряда) огневого стреляющего средства на траектории его полета (вектора траекторных измерений) с учетом случайных ошибок траекторных измерений. **Выводы.** Предложены подходы к имитационному статистическому моделированию траекторных измерений в многопозиционном радиолокационном комплексе контрбатареиной борьбы. С использованием разработанных подходов возможно определить матрицу траекторных измерений с учетом ошибок измерений координат объекта (мины, снаряда) на траектории на разных пунктах приема многопозиционного радиолокационного комплекса контрбатареиной борьбы. Направлением дальнейших исследований является разработка подходов по другим этапам имитационного статистического моделирования траекторных измерений в многопозиционном радиолокационном комплексе контрбатареиной борьбы.

**Ключевые слова:** имитационное статистическое моделирование, траекторные измерения, многопозиционный комплекс, контрбатареиная борьба, ошибка траекторных измерений, мина, снаряд.

### **Imitative statistical modeling of tractor measurements in multi-basis radar complex of counter-treatment combating**

B. Lisogorsky, I. Taran, H. Khudov

The **subject matter** of the article is the method of imitating statistical modeling of trajectory measurements in a multi-item counter-battery control system. The **goal** is the simulation of statistical simulation of trajectory measurements in a multi-station radar complex of counter-battery. The **tasks** are the determination of the accuracy of measuring the location of fire firing means; for a given location of fire firing means, the calculation of the parameters of the object's flight path (mines, projectile) when firing at a specific target; modeling of the vector of measurements of the coordinates of an object (mine, projectile) of a fire firing means on the trajectory of its flight (vector of trajectory measurements), taking into account random errors of trajectory measurements. The **methods** used are: the methods of probability theory, mathematical statistics, optimization methods, imitational statistical modeling. The following **results** were obtained. The accuracy of measuring the location of fire firing means was determined. For a given location of fire firing means, the parameters of the trajectory of the object (mines, projectile) of the fire firing means were calculated when firing at a specific target. A simulation of the measurement vector of the coordinates of the object (mines, projectile) of the fire firing means on the trajectory of its flight (the vector of trajectory measurements) was carried out taking into account random errors of the trajectory measurements. **Conclusions.** The approaches to the simulation of statistical modeling of trajectory measurements in the multi-position radar complex of the counter-battery control are proposed. Using the developed approaches, it is possible to determine the trajectory measurement matrix taking into account the measurement errors of the object coordinates (mines, projectile) on the trajectory at different reception points of the multi-position radar complex of the counter-battery combat. The direction of further research is the development of approaches for other stages of imitational statistical modeling of trajectory measurements in a multi-position radar complex of counter-battery control.

**Keywords:** simulation statistical modeling, trajectory measurements, multi-position complex, counter-battery struggle, trajectory measurement error, mine, projectile.

Р. М. Грищ, А. Н. Денисенко, Е. Н. Черняк

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ КАК СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Целью статьи является создание метода определения закона распределения случайной величины не требующего большого количества выборочных данных и обеспечивающего достаточную надежность расчета. В статье рассмотрены существующие подходы идентификации вида закона распределения показателей качества изделий. Предлагается метод идентификации закона распределения случайных величин показателей качества изделий с использованием теории порядковых статистик. Экспериментально доказано, что предложенный метод позволит определить закон распределения при малом количестве статистических данных. Математическая модель реализована с помощью доступного и простого компьютерного математического пакета Maple 9 для определения, из какого закона из трех: нормального, равномерного или Симпсона произведена выборка. Для реализации метода предлагается методика идентификации закона распределения.

**Ключевые слова:** закон распределения; порядковые статистики; малая выборка; графоаналитический метод; плотность распределения; математическое ожидание; идентификация закона; показатель качества.

### Введение

Определение вида закона распределения показателей качества изделий, как случайной величины, важный процесс при их оценивании, особенно при ограниченном количестве существующей статистической информации, так как от правильности идентификации закона распределения зависит достоверность решения практических задач статистическими методами. Идентификация вида закона распределения показателей качества изделий (закон распределения) по опытным данным занимает одно из центральных мест при обработке результатов экспериментов статистическими методами. Этому вопросу уделено много внимания в литературе [1–5].

Традиционный подход при решении задач сводится к расчету параметров эмпирического распределения, принятию их в качестве оценок параметров генеральной совокупности случайных величин с последующей проверкой сходимости эмпирического распределения с предполагаемым теоретическим по критериям  $\chi^2$  (Пирсона),  $\lambda$  (Колмогорова),  $\omega^2$  (Мизеса). Такой  $\chi^2$  подход имеет следующие недостатки: зависимость методики обработки результатов эксперимента от предполагаемого теоретического распределения, большой объем вычислений, особенно при использовании  $\chi^2$  и  $\omega^2$  [6]. Некоторые новые критерии [7] не имеют удовлетворительного теоретического обоснования, а в ряде случаев, как это показано в работе [7], не обладают достаточной мощностью. Б. Е. Янковский [8] предложил информационный способ определения закона распределения, суть которого заключается в использовании энтропии эмпирического распределения случайной величины. Недостаток предложенного метода в том, что отсутствуют оценки допустимого расхождения между эмпирической и теоретической энтропиями, что не позволяет его эффективного применения на практике.

**Цель работы** – создание метода определения закона распределения случайной величины, не требующего большого количества выборочных данных и обеспечивающего достаточную надежность расчета.

### Основная часть

**Графоаналитический метод определения закона распределения.** Функции распределения вида  $F((x-\mu)/\sigma)$  относятся к весьма широкому классу распределений, включающему все распределения, подобные нормальному. Они характеризуются параметром расположения  $\mu$  и мерой рассеивания  $\sigma$ , а также могут включать все распределения с одним параметром, например: экспоненциальное распределение с известным началом отсчета - ноль. Причем параметры  $\mu$  и  $\sigma$  не обязательно должны быть математическим ожиданием и стандартным отклонением, как у нормального закона распределения.

Так как плотность распределения  $f(x) = F'(x)$ , то она имеет вид:

$$f(x) = g((x-\mu)/\sigma)/\sigma, \quad (\sigma > 0).$$

Отсюда, стандартизированная случайная величина  $Y = (x-\mu)/\sigma$  имеет плотность распределения  $g(y)$ , которая не зависит от  $\mu$  и  $\sigma$ . Так, например, для равномерного распределения  $f(x) = 1/(b-a)$  при  $a \leq x \leq b$ . Плотность распределения случайной величины  $Y = (x-\mu)/\sigma$  имеет вид:  $g(y)=1$ , при  $0 \leq y \leq 1$ .

Пусть имеется  $n$  независимых наблюдений  $x_1, x_2, \dots, x_n$  непрерывной случайной величины  $x$  с функцией распределения  $F((x-\mu)/\sigma)$ . Расположим наблюдения по возрастанию их величины и обозначим упорядоченные результаты:  $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$ .

Так как упорядоченные случайные величины  $X$  и  $Y$  (для выборки объема  $n$ ) связаны соотношением

$$Y_{(i)} = (x_{(i)} - \mu)/\sigma \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

то моменты случайной величины зависят только от вида  $g(y)$ , но не от  $\mu$  и  $\sigma$ .

Тогда математическое ожидание  $i$ -ой порядковой статистики (нормированной) случайной величи-

ны  $Y_{(i)}$  есть некоторое число, независящее от параметров, вычисляемое по формуле:

$$M(Y_{(i)}) = \frac{n!}{(i-1)!(n-i)!} \times \int_{-\infty}^{\infty} y [F(y)]^{i-1} [1-F(y)]^{n-i} f(y) dy. \quad (2)$$

Отсюда следует, что для всех распределений вида  $F((x-\mu)/\sigma)$  можно раз и навсегда вычислить математическое ожидание нормированной случайной величины  $Y_{(i)}$  по формуле (2).

Из свойств математических ожиданий и соотношения (1) имеем:

$$M(X_{(i)}) = \mu + \sigma M(Y_{(i)}), \quad (3)$$

Таким образом,  $M(X_{(i)})$  является линейной комбинацией параметров  $\mu$  и  $\sigma$  с известными коэффициентами  $M(Y_{(i)})$ .

Отсюда, при заданном объеме выборки  $n$  можно на оси абсцисс нанести значения  $M(Y_{(i)})$ , а на оси ординат выборочные упорядоченные результаты (рис. 1).

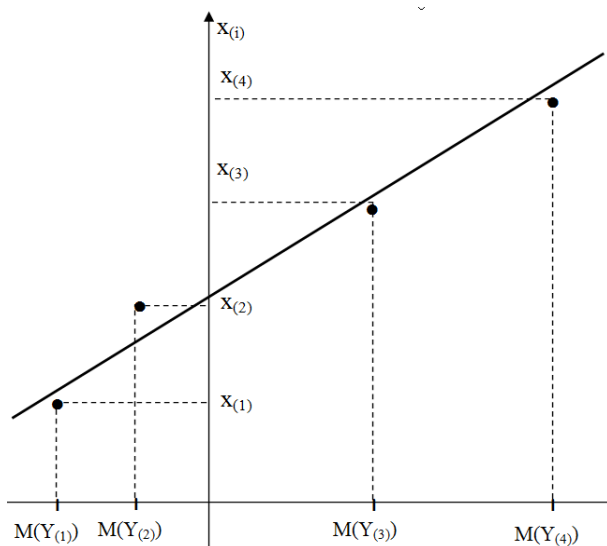


Рис. 1. Линейная зависимость порядковых статистик от нормированных математических ожиданий порядковых статистик

Принимая, что  $M(X_{(i)})=x_{(i)}$ , находим по способу наименьших квадратов ту прямую (рис. 1), которая аппроксимирует эти точки, т.е. такую прямую, чтобы сумма квадратов отклонений была минимальна.

$$L = \sum_{i=1}^n (x_{(i)} - \mu - \sigma M(Y_{(i)}))^2 \quad (4)$$

В этом случае параметры получают оценки:

$$\mu = \frac{A_2 S_1 - A_1 S_2}{n A_2 - A_1^2}; \quad (5)$$

$$\sigma = \frac{n S_2 - A_1 S_1}{n A_2 - A_1^2}, \quad (6)$$

где  $A_1 = \sum_{i=1}^n M(Y_{(i)}); A_2 = \sum_{i=1}^n [M(Y_{(i)})]^2;$

$$S_1 = \sum_{i=1}^n x_{(i)}; S_2 = \sum_{i=1}^n x_{(i)} \cdot M(Y_{(i)}). \quad (7)$$

Итак, чтобы определить закон распределения по малой выборке начиная с объема  $n=10$ , нужно найти  $L$  по формуле (4) для различных законов, используя математические ожидания их порядковых статистик и формулы (5), (6) и (7). Для выборок объема от 3 и больше, необходимо применять оптимальные линейные оценки параметров распределений и сравнивать их по величине. Наименьшее из  $L$  будет соответствовать принадлежности выборки определенному распределению.

**Методика идентификации закона распределения.** Для проверки предлагаемой идеи, определения принадлежности выборочных значений из генеральной совокупности небольшого объема одному из возможных законов распределения случайных величин предлагается использовать метод имитационного моделирования. Для этого необходимо сгенерировать случайные величины, имеющие один из законов распределения с определенными параметрами. Например, сгенерируем случайные числа по нормальному закону распределения с параметрами  $\mu=2$  и  $\sigma=3$  с определенным объемом, например,  $n=10$ :

$$\begin{aligned} x_{(1)} &= -0,35304; x_{(2)} = 0,283042; x_{(3)} = 0,914675; \\ x_{(4)} &= 0,977164; x_{(5)} = 1,635863; x_{(6)} = 2,192437; \\ x_{(7)} &= 3,432361; x_{(8)} = 3,542162; x_{(9)} = 4,636724; \\ x_{(10)} &= 7,18877. \end{aligned} \quad (8)$$

Пользуясь найденным  $M(Y_{(i)})$  для  $n=10$  имеем:  
 $M(Y_{(1)}) = -1,5387527308; M(Y_{(2)}) = -1,0013570446;$   
 $M(Y_{(3)}) = -0,6560591057; M(Y_{(4)}) = -0,375764697;$   
 $M(Y_{(5)}) = -0,1226677523; M(Y_{(6)}) = 0,1226677523;$   
 $M(Y_{(7)}) = 0,375764697; M(Y_{(8)}) = 0,6560591057;$   
 $M(Y_{(9)}) = 1,0013570446; M(Y_{(10)}) = 1,5387527308.$

По формулам (6) и (5) имеем:

$$\mu = 2,445015800; \sigma = 2,360192827.$$

Из (4) имеем:  $L=3,117140239.$

Для равномерного закона математическое ожидание нормированной порядковой статистики:

$$M(X_{(i)}) = \frac{i}{n+1}$$

и для него по результатам выборки оценка:

$$\mu = 1,535372994; \sigma = 7,9600777587, L=3,994140401.$$

Для закона Симсона при объеме выборки  $n=10$  были найдены математические ожидания нормированных порядковых статистик:

$$\begin{aligned} M(Z_{(1)}) &= -0,308895; M(Z_{(2)}) = -0,213317; \\ M(Z_{(3)}) &= -0,141475; M(Z_{(4)}) = -0,080991; \\ M(Z_{(5)}) &= -0,026373; M(Z_{(6)}) = -0,026373; \\ M(Z_{(7)}) &= 0,080991; M(Z_{(8)}) = 0,141475; \\ M(Y_{(9)}) &= 0,213317; M(Z_{(10)}) = 0,308895. \end{aligned}$$

Фрагменты таблиц математических ожиданий порядковых статистик для рассматриваемых законов распределения для объемов  $n = 2-10$  представлены в табл. 1-3.

Таблица 1 – Математические ожидания порядковых статистик в выборке объемом n из совокупности, подчиняющейся нормальному распределению

n	Y <sub>(1)</sub>	Y <sub>(2)</sub>	Y <sub>(3)</sub>	Y <sub>(4)</sub>	Y <sub>(5)</sub>	Y <sub>(6)</sub>	Y <sub>(7)</sub>	Y <sub>(8)</sub>	Y <sub>(9)</sub>	Y <sub>(10)</sub>
10	-1,538752	-1,001357	-0,656059	-0,375764	-0,122667	0,122667	0,375764	0,656059	1,001357	1,538752
9	-1,485013	-0,932297	-0,571970	-0,274525	0	0,274525	0,571970	0,932297	1,485013	
8	-1,423600	-0,852224	-0,472822	-0,152514	0,152514	0,472822	0,852224	1,423600		
7	-1,352178	-0,757374	-0,352707	0	0,352707	0,757374	1,352178			
6	-1,267206	-0,641755	-0,201547	0,201547	0,641755	1,267206				
5	-1,162964	-0,495019	0	0,495019	1,162964					
4	-1,029375	-0,297011	0,297011	1,029375						
3	-0,846284	0	0,846284							
2	-0,564189	0,564189								

Таблица 2 – Математические ожидания порядковых статистик в выборке объемом n из совокупности, подчиняющейся распределению Симсона

n	Z <sub>(1)</sub>	Z <sub>(2)</sub>	Z <sub>(3)</sub>	Z <sub>(4)</sub>	Z <sub>(5)</sub>	Z <sub>(6)</sub>	Z <sub>(7)</sub>	Z <sub>(8)</sub>	Z <sub>(9)</sub>	Z <sub>(10)</sub>
10	-0,308895	-0,213317	-0,141475	-0,080991	-0,02637	0,026373	0,080991	0,141475	0,213317	0,308895
9	-0,299337	-0,198949	-0,123330	-0,059144	0	0,059144	0,123330	0,198949	0,299337	
8	-0,288183	-0,182145	-0,101935	-0,032858	0,032858	0,101935	0,182145	0,288183		
7	-0,274928	-0,162092	-0,076031	0	0,076031	0,162092	0,274928			
6	-0,258809	-0,137503	-0,043446	0,043446	0,137503	0,258809				
5	-0,238591	-0,106151	0	0,106151	0,238591					
4	-0,212103	-0,063690	0,063690	0,212103						
3	-0,175000	0	0,175000							
2	-0,116667	0,116667								

Таблица 3 – Математические ожидания порядковых статистик в выборке объемом n из совокупности, подчиняющейся равномерному распределению

n	X <sub>(1)</sub>	X <sub>(2)</sub>	X <sub>(3)</sub>	X <sub>(4)</sub>	X <sub>(5)</sub>	X <sub>(6)</sub>	X <sub>(7)</sub>	X <sub>(8)</sub>	X <sub>(9)</sub>	X <sub>(10)</sub>
10	0,090909	0,181818	0,272727	0,363636	0,454545	0,545455	0,636364	0,727273	0,818182	0,909091
9	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	
8	0,111111	0,222222	0,333333	0,444444	0,555556	0,666667	0,777778	0,888889		
7	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875			
6	0,142857	0,285714	0,428571	0,571429	0,714286	0,857143				
5	0,166667	0,333333	0,5	0,666667	0,833333					
4	0,2	0,4	0,6	0,8						
3	0,25	0,5	0,75							
2	0,333333	0,666667								

По результатам выборки (7) имеем для этого распределения по формулам (5) и (6):

$$\mu = 2,4450115800;$$

$$\sigma = 11,42630684;$$

$$L = 3,28560048.$$

Из проведенных расчетов видно, что из этих трех распределений близким является нормальное распределение, что действительно есть, так как нами генерировалась выборка из нормального закона.

Такой результат был получен нами и для генерированного равномерного закона и закона Симпсона при различных объемах выборки n=10÷20.

Итак, данный метод действительно может дать ответ, из какого закона распределения произведена малая выборка.

Нами составлена программа в математическом пакете Maple 9, для определения, из какого закона из трех: нормального, равномерного или Симпсона произведена выборка при объемах n от 10 до 20.

Предложим методику идентификации закона распределения случайных величин по выборке небольшого объема, которая заключается в следующем:

1) берется выборка из партии контролируемых изделий, объемом n = 10-20 шт. и измеряются действительные значения контролируемого показателя качества;

2) значения действительных значений показателей качества выстраивается в вариационный ряд (в порядке возрастания);

3) определяется оценки параметров для различных законов распределения по формулам (5) и

(б) или по оптимальным линейным оценкам, если они получены для этих законов.

4) определяется сумма квадратов отклонений аппроксимирующей прямой эмпирических значений от аппроксимирующей прямой математических ожиданий порядковых статистик по формуле (4);

5) закон, которому принадлежит наименьшее из значений  $L$  является законом распределения эмпирических значений контролируемого показателя качества.

## Выводы

Данный метод позволит определить по малому числу наблюдений выбор закона распределения случайной величины  $X$ . Составленная нами программа для трех распределений: нормального, равномерного и Симпсона для выборок объема  $n=2÷20$  позволяет определить из какого закона взята выборка.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Трищ Р. М. Обобщённая точечная и интервальная оценки качества изготовления детали ДВС / Р. М. Трищ, Е. А. Слитюк. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – №1/2 (19). – С. 63–67.
2. Арпентьев Б. М. Особливості систем управління якістю механозбирального виробництва / Б. М. Арпентьев, Р. М. Трищ. // Стандартизація. Сертифікація. Якість. – 2005. – №1. – С. 68 – 72.
3. Трищ Р. М. Оценка модели точности изготовления деталей на адекватность // Вісник НТУ „ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2005. – № 57 – С. 61-65.
4. Трищ Р. М. Определение закона распределения точности механической обработки // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2005. – № 5/2 (17) – С. 46-48.
5. Трищ Р. М. Применение чувствительных характеристик для определения модели точности изготовления деталей // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2005. – № 6/2 (18) – С. 11-13.
6. Информационные методы в управлении качеством / В. Г. Григорович, С. В. Юдин, Н. О. Козлова, В. В. Шильдин. – Москва: РИА «Стандарты и качество», 2001. – 208 с.
7. Розно М. И. Статистический контроль партий продукции по альтернативному признаку при измененном допуске // Надежность и контроль качества. – 1992. - № 2. – С. 44-52.
8. Янковский Б. Е. Информационный способ определения вида закона распределения // Надежность и контроль качества. – 1971. - № 2. – С. 71-79.

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

### Метод визначення закон розподілу показників якості виробів як випадкової величини

Р. М. Трищ, А. М. Денисенко, О. М. Черняк

Метою статті є створення методу визначення закону розподілу випадкової величини який не потребує великої кількості вибірових даних і забезпечує достатню надійність розрахунку. У статті розглянуті існуючі підходи ідентифікації виду закону розподілу показників якості виробів. Пропонується метод ідентифікації закону розподілу випадкових величин показників якості виробів з використанням теорії порядкових статистик. Експериментально доведено, що запропонований метод дозволить визначити закон розподілу при малій кількості статистичних даних. Математична модель реалізована за допомогою доступного і простого комп'ютерного математичного пакета Mapl 9 для визначення, з якого закону з трьох: нормального, рівномірного або Симпсона проведена вибірка. Для реалізації методу пропонується методика ідентифікації закону розподілу.

**Ключові слова:** закон розподілу; порядкові статистики; мала вибірка; графоаналітичний метод; щільність розподілу; математичне очікування; ідентифікація закону; показник якості.

### Method for determining the law of distribution of the indicators of quality of products as random quantity

R. Trishch, A. Denysenko, O. Cherniak

The aim of the article is to provide a method for determining the law of the random variable distribution does not require a large amount of sample data and provide sufficient reliability calculation. The article discusses the existing approaches to identifying the type of distribution law for product quality indicators. A method is proposed for identifying the distribution law of random variables of product quality indicators using the theory of ordinal statistics. To determine the belonging of sample values from the general population of a small volume to one of the possible laws of the distribution of random variables, it is proposed to use a simulation method. It is proposed to generate random variables that have one of the distribution laws with certain parameters. Experimentally generated random numbers according to the normal law. From the calculations carried out in the article, it can be seen that from these three distributions the closest is the normal distribution, which really is, since we generated a sample from the normal law. Thus, it is proved that the proposed method will allow to determine the distribution law with a small amount of statistical data. The mathematical model is implemented using the accessible and simple computer math package Mapl 9 to determine from which law of the three: normal, uniform, or Simpson, the sample was taken. To implement the method, a method of identification of the distribution law is proposed.

**Keywords:** distribution law; ordinal statistics; small excerpt; graphoanalytical method; distribution density; expected value; law identification; quality indicator.

А. А. Андрашов<sup>1</sup>, А. А. Гордеев<sup>2</sup>, А. А. Коваленко<sup>3</sup>, В. С. Харченко<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Научно-производственное предприятие «РАДИКС», Кропивницкий, Украина

<sup>2</sup> Университет банковского дела, Киев, Украина

<sup>3</sup> Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

<sup>4</sup> Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», Харьков, Украина

## МЕТРИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЫПОЛНЕНИЕМ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИУС АЭС ДЛЯ V-ОБРАЗНОЙ МОДЕЛИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Рассматривается подход к метрическому оцениванию управления выполнением требований к программному обеспечению (ПО) информационно-управляющих систем (ИУС) атомных электростанций (АЭС) в соответствии с V-образной моделью жизненного цикла разработки ПО. Предлагается ряд метрик оценивания выполнения требований, которые могут быть использованы для управления требованиями. Приведен расчет предлагаемых метрик для реальных примеров оценивания управления требованиями к функциональной безопасности. Предложенный подход позволяет описать наилучшие варианты распределения требований по этапам модели ЖЦ, определить точки возврата в жизненном цикле для каждого из требований, а также вариантов его невыполнения. Это, в свою очередь, позволяет управлять выполнением требований, в частности, определять различные сценарии возврата (влияющие на полноту проверок) и виды соответствующих корректирующих воздействий с целью снижения проектных затрат. Предложенный набор метрик является частью инструментария для проверки выполнения требований к функциональной безопасности и был использован при выполнении проекта лицензирования платформы RadICS на соответствие требованиям стандарта IEC61508/SIL3.

**Ключевые слова:** требования, ПО, метрический подход, оценивание выполнения требований.

### Введение

Требования, представленные в техническом задании к любой из систем, должны выполняться, а их выполнение – подтверждаться процедурами формальной верификации и валидации. Например, в соответствии с V-образной моделью жизненного цикла (ЖЦ), выполнение и верификация требований распределяется в соответствии с этапами ЖЦ ПО [1]. Однако, требования не всегда могут быть выполнены и/или своевременно проверены на необходимом этапе ЖЦ ПО. Это может быть обусловлено недостаточным качеством самого технического задания, несоответствующим контролем при выполнении проекта, человеческим фактором и др. Реализация или верификация таких требований на более поздних этапах ЖЦ ПО могут приводить к дополнительным расходам проектных ресурсов, поскольку разработчикам приходится вносить изменения в текущий проект и возвращаться на более ранние этапы, частично либо полностью нивелируя при этом результаты на текущих этапах разработки.

Если же требования выполняются и верифицируются в соответствии с необходимыми этапами, то экономия ресурсов в рамках проекта разработки может быть получена за счет минимизации затрат на переработку и дополнительную верификацию.

**Анализ публикаций**, посвященных управлению выполнением требований ПО и их метрического оценивания показал, что в известных работах [2-4] детально не рассматриваются варианты верификации требований на более ранних этапах. Описание метрик для оценивания выполнения требований приведено в

[5], однако, метрики учета экономии проектных ресурсов вследствие более ранней (своевременной) верификации отсутствуют. Поэтому **целью статьи является** представление вариантов выполнения и верификации требований, а также описание метрик управления выполнения требований к ПО ИУС АЭС. Она базируется также на расширенных вариантах представления V-образной модели, в частности, модели жизненного цикла функциональной безопасности [6, 7].

### Декомпозиция требований на V-образную модель ЖЦ

Требования, представленные в виде таксономической структуры [8], предлагается проецировать на этапы, образующие модель жизненного цикла. Например, они могут декомпозироваться в рамках V-образной модели жизненного цикла в зависимости от этапа на левую или правую ее ветви (рис. 1). Декомпозированные таким образом требования должны проходить процедуру верификации, т.е. подтверждения их выполнения. Верификация требований на более ранних этапах снижает затраты на изменения в разрабатываемом проекте в случае их невыполнения. Представим возможные «точки-этапы» верификации требований в рамках V-образной модели:

– «точка», в которой требование должно проверяться; для ее обозначения вводится термин «точка необходимой верификации – ТНР»;

– «точка», в которой требование проверяется; это применимо для проекта, когда процесс верификации требований является неуправляемым; для ее обозначения вводится термин «точка реальной верификации – ТРВ»;

– «точка», в которой верификация может проводиться или проводиться на более раннем этапе, чем в том, в котором оно должно проверяться; для ее обозначения вводится термин «точка более ранней верификации – ТБРВ».

Рассмотрим пример, который графически отображает варианты «точек» верификации требований (рис. 1). Для более точного представления варианты точек верификации введем условные обозначения, которые представлены в табл. 1. Рис. 1 иллюстрирует расстановку таксонов, входящих в состав таксономических структур по этапам V-образной модели ЖЦ. Таксоны распределяются по этапам ЖЦ и компонентам ПО следующим образом:

$T_{1.1} \rightarrow \mathcal{E}_{12}K_4, T_{1.2} \rightarrow \mathcal{E}_{21}K_1, T_{1.3} \rightarrow \mathcal{E}_{11}K_1, T_{1.2.1} \rightarrow \mathcal{E}_{31}K_1,$   
 $T_{1.2.2} \rightarrow \mathcal{E}_{32}K_3, T_{2.1} \rightarrow \mathcal{E}_{42}K_1, T_{2.2} \rightarrow \mathcal{E}_{33}K_4, T_{2.3} \rightarrow \mathcal{E}_{33}K_2,$   
 $T_{2.1.1} \rightarrow \mathcal{E}_{52}K_6, T_{2.1.2} \rightarrow \mathcal{E}_{41}K_5, T_{3.1} \rightarrow \mathcal{E}_{51}P_5, T_{3.2} \rightarrow \mathcal{E}_{54}K_2.$

Далее рассмотрим формирование множеств типов «точек» верификации требований, элементами которых будут пара «этапы-компоненты»:

– к множеству точек необходимой верификации относят:  $TNB = \{\mathcal{E}_{12}K_4, \mathcal{E}_{21}K_1, \mathcal{E}_{11}K_1, \mathcal{E}_{31}K_1, \mathcal{E}_{32}K_3, \mathcal{E}_{42}K_1, \mathcal{E}_{33}K_4, \mathcal{E}_{33}K_2, \mathcal{E}_{52}K_6, \mathcal{E}_{41}K_5, \mathcal{E}_{51}P_5, \mathcal{E}_{54}K_2\};$

– к множеству точек реальной верификации относят следующие:  $TRB = \{\mathcal{E}_{52}K_6, \mathcal{E}_{42}P_5\};$

– к множеству точек реальной верификации относят следующие:  $TRB = \{\mathcal{E}_{42}K_2, \mathcal{E}_{21}K_4, \mathcal{E}_{22}K_5, \mathcal{E}_{32}K_6, \mathcal{E}_{23}P_5\}.$

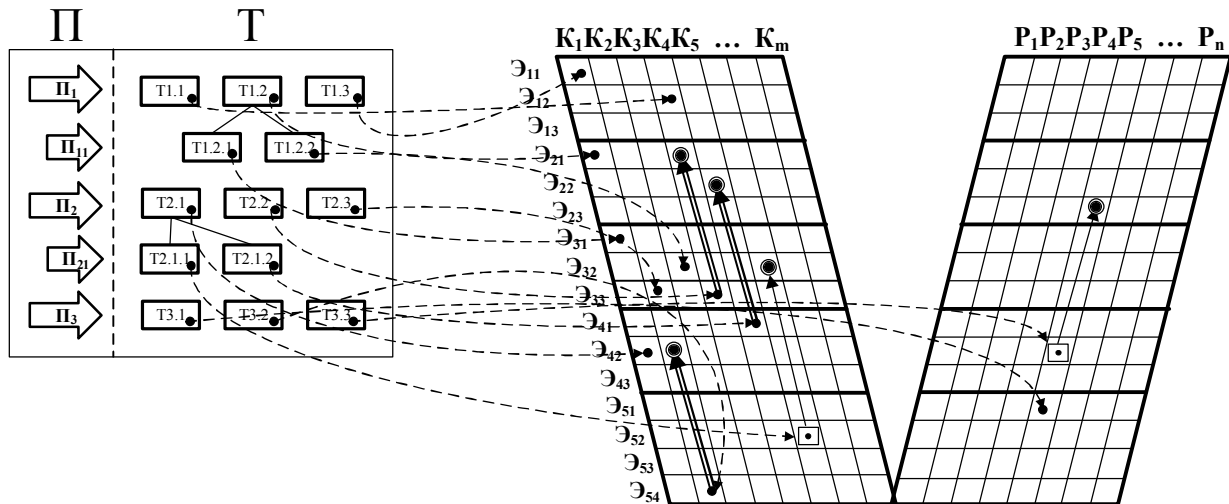


Рис. 1. Декомпозиция требований, представленных таксономической структурой, и их проецирование на V-образную модель ЖЦ

Таблица 1 – Условные обозначения для точек верификации, переходов и проекции требований

№	Обозначение	Описание
1	●	Требование
2	◻	Подэтап, на котором требование будет проверено при неуправляемой проверке
3	⊙	Подэтап возврата при управляемой проверке
4	→	Возврат при управляемой проверке требований
5	→	Возврат при неуправляемой проверке требований
6	- - - →	Взаимосвязь между требованиями из таксономической структуры и этапом V-образной модели ЖЦ (соответствие требования этапу и компоненту)
7	$\Pi_x$	Классификационные признаки
8	$T_x$	Таксоны
9	$\mathcal{E}_x$	Этапы ЖЦ ПО
10	$K_x, P_x$	Компоненты (либо их группы) ПО, которым адресовано требование

### Метрики оценивания и управления требованиями

Проверка выполнения требований на более ранних этапах жизненного цикла ПО обеспечивает экономию проектных ресурсов. Чтобы оценить такую экономию, прежде всего необходимы количественные метрики. В качестве основных метрик, которые могут использоваться в процессах оценки и управления требованиями ПО ИУС АЭС можно предложить такие:

1) метрика доли проверенных требований (полнота проверки), которая равна отношению числа проверенных требований к общему числу требований:

$$MetCR = DR / GR; \quad (1)$$

2) метрика доли проверенных требований к завершению определенного этапа  $Ei$ , которая равна отношению числа требований, проверенных к завершению этапа  $Ei$ , к общему числу требований, которые должны быть проверены к завершению этапа  $Ei$ :

$$MetCREi = DREi / GDREi; \quad (2)$$

3) метрика доли требований, которые должны быть выполнены к завершению этапа  $Ei$ , равная отношению числа требований, которые должны быть выполнены к завершению этапа  $Ei$ , к общему числу:

$$MetREi = REi / GREi; \quad (3)$$

4) метрика возврата при невыполнении требований на этапе  $Ei$ , которая равна отношению числа эта-



пов/подэтапов, на которое должен быть произведен возврат при невыполнении требования на этапе/подэтапе  $Ei$  к номеру этапа/подэтапа  $Ei$ :

$$MetRREi = NREi / NEi; \quad (4)$$

5) метрика суммарного максимального возврата, которая равна отношению суммы метрик возврата по всем требованиям к общему числу требований:

$$MetGRR = MetRRE1 + MetRRE2 + \dots + MetRREn / GR; \quad (5)$$

6) метрика снижения затрат при своевременной проверке требования  $Req_i$  на этапе  $E_j$ , которая равна отношению разницы в затратах при своевременной и более поздней проверках выполнения требования  $Req_i$  к затратам на выполнение требования при несвоевременной проверке:

$$MetRSRi = \Delta Ci / Cni; \quad (6)$$

7) метрика снижения затрат при своевременной проверке всех требований:

$$MetRSR = (\Delta C1 + \Delta C2 + \dots + \Delta CGR) / (Cn1 + Cn2 + \dots + CnGR). \quad (7)$$

### Расчет метрик управления выполнением требований

Прежде всего, удобно детализировать процесс экономии ресурсов в общем виде. Для этого назначим каждому этапу жизненного цикла условные стоимостные количественные значения (рис. 2, 3). На рис. 3 они обозначены  $Ci$ . Более позднему этапу присваивается большее значение ( $Ci$ ), таким образом для этапа  $\mathcal{E}_{41}$   $C_{41}=10$ , для этапа  $\mathcal{E}_{23}$   $C_{23}=6$ , для этапа  $\mathcal{E}_{13}$   $C_{23}=3$ . Стои-

мостные значения определяются объемом (количеством) ресурсов. Будем считать, что присвоенные значения являются условными абсолютными значениями. Рассмотрим случай, когда точка реальной верификации переходит в точку более ранней верификации, то есть проверка требования перемещается из  $\mathcal{E}_{41}$  в  $\mathcal{E}_{13}$  (рис. 2).

Далее по формуле (8) рассчитаем первую метрику снижения затрат при своевременной проверке требования ( $MetRSR_1$ ), а далее вторую метрику снижения затрат при своевременной проверке требования (9) ( $MetRSR_2$ ) и, в заключение, посчитаем разницу между значениями первой и второй метриками по формуле (10):

$$MetRSR_{1\mathcal{E}_i} = \frac{C_{max} - C_{min}}{C_{max}}; \quad (8)$$

$$MetRSR_{2\mathcal{E}_i} = \frac{C_i - C_{min}}{C_{max}}; \quad (9)$$

$$\Delta MetRSR_{\mathcal{E}_i} = MetRSR_{1\mathcal{E}_i} - MetRSR_{2\mathcal{E}_i}; \quad (10)$$

$$MetRSR_{123} = \frac{10-3}{10} = 0,7; \quad MetRSR_{223} = \frac{6-3}{10} = 0,3;$$

$$\Delta MetRSR_{23} = 0,7 - 0,3 = 0,4.$$

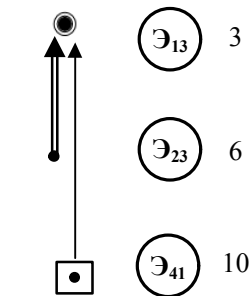


Рис. 2. Переход точек необходимой и реальной верификации в точку более ранней верификации

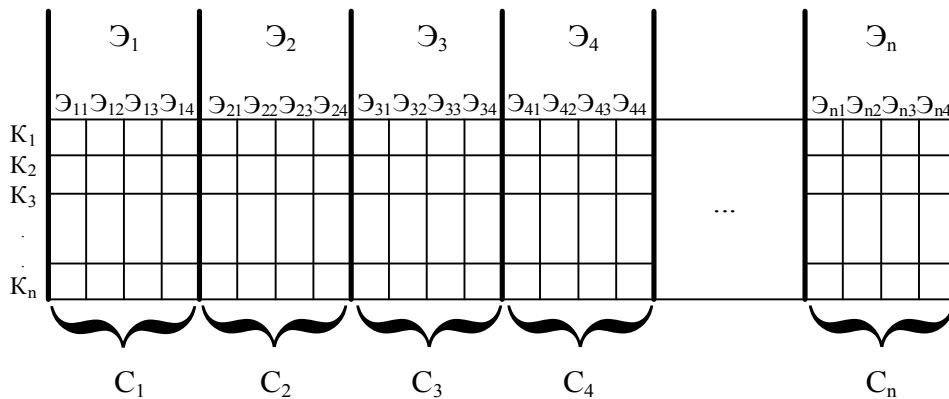


Рис. 3. Стоимостные обозначения для этапов

Таким образом, экономия в случае перехода точки реальной верификации в точку необходимой верификации составляет 0,4. Рассмотрим частный случай проекта разработки. В таблице 2 представлен фрагмент спецификации требований проекта по разработке ИУС АЭС [9].

Таблица 2 – Фрагмент спецификации требований

Requirement	Verification stage
The worst-case response time for a change of state of a contact input signal through the complete system to the completion of change of state of a contact output shall be 10 ms or less	Validation Testing

Ниже приведены результаты расчета двух метрик для такого фрагмента.

Метрика снижения затрат при своевременной проверке требований, на этапе 12 (Integration Testing) вместо 13 (Validation Testing).

$$MetRSR_{12} = (230 - 200) / 230 = 0,13.$$

Метрика возврата при невыполнении требований на этапе 13 (Validation Testing):

$$MetRRE_{13} = (13-1) / 13 = 0,923.$$

### Выводы

В статье предложена процедура метрического оценивания выполнения требований ПО ИУС АЭС

на прикладі V-образної моделі життєвого циклу. Такий процес дозволяє описати найкращі варіанти розподілення вимог по етапам моделі ЖЦ, визначити точки повернення в життєвому циклі для кожного з вимог, а також варіантів його невиконання.

Це, в свою чергу, дозволяє управляти виконанням вимог, в частині, визначати різні сценарії повернення (впливаючі на повно-

ту перевірок) і види відповідних коректуючих впливів з метою зниження проектних витрат.

Представлений набір метрик є частиною інструментарію для перевірки виконання вимог до функціональної безпеки і був використаний при виконанні проекту ліцензування платформи RadICS на відповідність вимогам стандарту IEC61508/SIL3 [6].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ISO/IEC/IEEE 29148, Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering, 2011.
2. Shuichiro Yamamoto. An Evaluation of Requirements Specification Capability Index. 20th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, KES2017, Procedia Computer Science, 2017, 998–1006 pp.
3. Pohl, K., Requirements Engineering – Fundamentals, Principles, and Techniques, Springer, 2010, 813 pp.
4. Leffingwell, D. and Widrig, D., Managing Software Requirements: A Unified Approach (The Addison-Wesley Object Technology Series) -Wesley Professional, 1999, 528 pp.
5. Adnane Ghannem, Mohamed Salah Hamdi, Marouane Kessentini, Hany H. Ammar. Search-based requirements traceability recovery: A multi-objective approach, Proc. IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2017, p. 1183-1190.
6. IEC 61508-1:2010 Ed.2. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, 2010, pp. 127.
7. Vyacheslav Kharchenko, Andriy Kovalenko, Anton Andrashov, Oleksandr Siora. V-Models of Safety Critical System Life Cycle: Classification and Application, Proceeding of 9th International IEEE Conference “DEpendable Systems, SERvices and Technologies” (DESSERT’2018). – Kyiv, Ukraine. – May 24-27, 2018. – Pp. 2-6.
8. Vyacheslav Kharchenko, Oleksandr Gordieiev, Alina Fedoseeva. Profiling of Software Requirements for the Pharmaceutical Enterprise Manufacturing Execution System, Applications of Computational Intelligence in Biomedical Technology, Springer, Cham, 2016, p. 67-92.
9. Sea Ice Climate Change Initiative: Phase 2. D3.1 Safety Requirements Specification document, 2016, 211 pp.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В. А. Краснобаєв,  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків

Received (Надійшла) 12.19.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 09.01.2019

### Метричне оцінювання управління виконанням вимог до програмного забезпечення ІУС АЕС для V-образної моделі життєвого циклу

А. О. Андрашов, О. О. Гордєєв, А. А. Коваленко, В. С. Харченко

Розглядається підхід до метричного оцінювання виконанням вимог програмного забезпечення (ПЗ) інформаційно-керуючих систем (ІКС) атомних електростанцій (АЕС) відповідно до V-подібної моделі життєвого циклу розробки ПЗ. Пропонується ряд метрик оцінювання виконання вимог, що можуть бути використані для управління вимогами. Наведено розрахунок запропонованих метрик для реальних прикладів оцінювання управління вимогами до функціональної безпеки. Запропонований похід дозволяє описати найкращі варіанти розподілу вимог по етапах моделі ЖЦ, визначити точки повернення в життєвому циклі для кожного з вимог, а також варіантів його невиконання. Це, в свою чергу, дозволяє управляти виконанням вимог, зокрема, визначити різні сценарії повернення (що впливають на повноту перевірок) і види відповідних коригуючих впливів з метою зниження проектних витрат. Запропонований набір метрик є частиною інструментарію для перевірки виконання вимог до функціональної безпеки і був використаний при виконанні проекту ліцензування платформи RadICS на відповідність вимогам стандарту IEC61508 / SIL3.

**Ключові слова:** вимоги, ПЗ, метричний підхід, оцінювання виконання вимог.

### Metric evaluation of management of meeting the requirements for NPP I&C software within the V-shaped model of the life cycle

A. Andrashov, A. Gordieiev, A. Kovalenko, V. Kharchenko

An approach to metric assessment of meeting the requirements for Nuclear Power Plant (NPP) Instrumentation and Control System (I&CS) software in accordance with the V-shaped model of the software development life cycle is considered. A number of metrics for evaluating compliance are proposed; such metrics can be used in requirements management. The calculation of the proposed metrics is presented for real examples of evaluating the management of functional safety requirements. The proposed approach allows you to describe the best options for the distribution of requirements by stages of the life cycle model, to determine the return point in the life cycle for each of the requirements, as well as options for its non-fulfillment. This, in turn, allows you to manage the fulfillment of requirements, in particular, to determine various return scenarios (affecting the completeness of checks) and the types of appropriate corrective actions in order to reduce project costs. The proposed set of metrics is part of the toolkit to verify compliance with functional safety requirements and was used in the implementation of the RadICS platform licensing project for compliance with the requirements of the IEC61508 / SIL3 standard.

**Keywords:** requirements, software, metric approach, requirements evaluation.

С. Ю. Гавриленко

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

## РОЗРОБКА МЕТОДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ АНОМАЛЬНОГО СТАНУ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

**Предметом** статті є дослідження методів ідентифікації аномального стану комп'ютерних системах. **Метою** статті є розробка методу ідентифікації аномального стану комп'ютерної системи на основі методу нечіткої логіки. **Завдання:** дослідити існуючі методи ідентифікації аномального стану комп'ютерних систем; з метою вибору вхідних даних проаналізувати PE-структуру шкідливого та безпечного програмного забезпечення та виділити ознаки; оцінити ознаки за допомогою апарату лінійного програмування для подальшого аналізу; розробити метод ідентифікації стану комп'ютерної системи на основі нечіткої логіки, дослідити та обґрунтувати вибір типу функції приналежності, виконати мінімізацію кількості правил, провести тестування. Використовуваними **методами** є: апарат лінійного програмування та апарат нечіткої логіки. Отримано такі **результати**. Розроблено метод ідентифікації стану комп'ютерної системи на основі нечіткої логіки. Для цього вибрано ознаки шкідливого та безпечного програмного забезпечення та оцінено їх за допомогою апарату лінійного програмування, обґрунтовано вибір типу функції приналежності, виконано мінімізацію кількості правил. Проведено тестування запропонованого методу. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: розроблено метод ідентифікації стану комп'ютерної системи на основі нечіткої логіки Мамдані, обґрунтовано вибір типу функції приналежності, виконано мінімізацію кількості правил методом часткового опису за рахунок попарного врахування нечітких множин вхідних змінних, що дозволило збільшити швидкість методу ідентифікації в 5 разів.

**Ключові слова:** шкідливе програмне забезпечення, PE-структура файлу, аномальний стан, комп'ютерна система, нечітка логіка Мамдані.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Експерти у області комп'ютерної безпеки відзначають, що обсяги комп'ютерних вірусів та шкідливого програмного забезпечення ростуть із загрозливою швидкістю. На противагу цьому, незважаючи на усі зусилля дослідників і розробників у цій галузі, в даний час не існує такої антивірусної програми, яка могла б ідентифікувати аномальний стан комп'ютерної системи зі стовідсотковою вірогідністю. Саме тому питання розробки та вдосконалення антивірусних засобів залишається актуальною науковою задачею.

**Аналіз літератури** показав, що існує ряд методів виявлення аномального стану КС. Так методи, що мають за основу байєсовський підхід (Naïve Bayes Approach) [1] є найбільш простими варіантами класифікації даних та не потребують перенавчання. Але вони не враховують комбінований вплив вхідних змінних на результат класифікації та обмежені типом вхідних даних (оброблюються лише дискретні дані). Методи на основі теорії опорних векторів [2] можуть бути використаними тільки для вирішення задач з двома класами ідентифікації. Методи на основі штучних нейронних мереж [3, 4] мають здатність до адаптації та зміні зовнішніх умов шляхом перенавчання, але для них відсутня суворота теорія вибору структури штучної нейронної мережі. Методи на основі генетичних алгоритмів [5, 6] відносно стійкі при попаданні в локальні оптимуми, прості в реалізації, але для них важно знайти точний глобальний оптимум. Вони використовуються для задач оптимізації вже розроблених методів.

Методи на основі регресійного аналізу [7], дозволяють врахувати взаємодію між обраними показниками, але механізм перетворення вихідних даних в кінцевий результат є жорстким, вибір виду конк-

ретної залежності носить суб'єктивний характер (формальна підгонка моделі під емпіричний матеріал), неможливе пояснення причинно-наслідкового зв'язку [8, 9] і, як наслідок, недостатня інформативність результатів, що допускає неоднозначне їх трактування.

Методи на основі кластерного аналізу [10, 11] не завжди інформативні, так як не враховується близькість точок до меж поділу на кластери.

Методи на основі багатofакторного дискримінантного аналізу [12] залежать від особливостей контрольованих показників, їх сенсу, обсягу що призводить до низької точності і швидкості, мають високу ймовірність помилкових спрацьовувань.

Методи виявлення аномального стану системи також погано адаптовані для обробки великих обсягів даних в режимі реального часу [13].

Одним з перспективних напрямків ідентифікації стану КС є використання нечіткої логіки [14–16] для ідентифікації аномалій. Відомий ряд технічних рішень на основі аналізу мережевого трафіку [17–20], а саме формування нечітких еталонів мережевих параметрів і формування евристичних правил для оцінювання мережевої активності [21, 22]. Разом з ним основним недоліком систем нечіткого виведення є їх експоненціальна залежність швидкості від кількості правил.

Таким чином, проведений аналіз існуючих методів ідентифікації стану комп'ютерних систем показав необхідність адекватного вибору показника аномальної поведінки комп'ютерних систем в умовах зовнішніх впливів і розробки методів оцінки, що відповідає обраним показникам.

**Метою статті** є розробка методу ідентифікації аномального стану комп'ютерної системи на основі нечіткої логіки та підвищення швидкості методу за рахунок мінімізації кількості правил.

**Результати розробки та досліджень.**

Вхідні дані для методу виявлення комп'ютерних вірусів на основі нечіткої логіки сформовані на основі аналізу PE-структури файлу, системних викиликів та ін. Було проаналізовано PE-структуру шкідливого (по 290 файлів типу Worm, Trojan, Backdoor) та безпечного програмного забезпечення та виділено їх ознаки у вигляді API-функцій. Виділені API-функції оцінено за допомогою апарату лінійного програмування з цільовою функцією (1) і обмеженнями (2, 3) та вибрано 25 найбільш значущих API-функцій для подальшого аналізу. Вибрані API-функції об'єднано в групи (A, B, C, D, E) (за ознакою вірогідності приналежності файлів) до вірусних чи нормальних груп (табл. 1):

$$Z = x_1 + x_2 + \dots + x_n \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\begin{cases} b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \dots + b_{1n}x_n \geq K_a, \\ b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \dots + b_{2n}x_n \geq K_a, \\ \dots \\ b_{m1}x_1 + b_{m2}x_2 + \dots + b_{mn}x_n \geq K_a, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} b_{11}x_1 + b_{12}x_2 + \dots + b_{1n}x_n \leq K_b, \\ b_{21}x_1 + b_{22}x_2 + \dots + b_{2n}x_n \leq K_b, \\ \dots \\ b_{m1}x_1 + b_{m2}x_2 + \dots + b_{mn}x_n \leq K_b, \end{cases} \quad (3)$$

де  $x_i$  – коефіцієнт значимості  $i$ -ї ознаки,  $i$  – бінарне значення, що означає присутність або відсутність  $i$ -ї ознаки в  $j$ -му зразку,  $K_a, K_b$  – початок і кінець діапазону допустимих значень вибірки, які є різними для шкідливого та безпечного ПЗ.

Таблиця 1. Ознаки шкідливого програмного коду у вигляді API-функцій

№	API-функції	% виявлення в шкідливих файлах	% виявлення в безпечних файлах	Різниця	Група
1	callnexthookex	27	75	48	A
2	getcurrentprocessid	39	87	48	
3	getdevicecaps	27	66	39	
4	getmonitorinfo	19	51	32	B
5	getdesktopwindow	25	54	29	
6	shellexecute	37	65	28	C
7	getsysteminfo	26	48	22	
8	unhookwindowshook	28	48	20	
9	setwindowshook	28	47	19	
10	regqueryvalue	76	94	18	
11	wininet	42	22	-20	D
12	gethostbyname	29	3	-26	
13	getstartupinfo	84	55	-29	
14	socket	46	16	-30	
15	registerserviceprocess	31	0	-31	
16	inet addr	35	3	-32	
17	copyfile	81	37	-44	
18	wnet	58	8	-50	E
19	readfile	95	44	-51	
20	writefile	95	44	-51	
21	Pathfindextensionw	62	10	-52	
22	StrStrIW	59	6	-53	
23	Localalloc	97	40	-57	
24	CryptStringtoBinary	64	6	-58	
25	CredEnumerateW	75	15	-60	

У якості методу нечіткого виведення обрано метод Мамдані, який є найбільш прозорим при навчанні. Вхідні лінгвістичні змінні для системи нечіткого виведення за методом Мамдані [23] описано таким кортежем:

$$\langle \alpha, T, X, G, M \rangle,$$

де  $\alpha$  – ім'я лінгвістичної змінної (A, B, C, D, E); T – множина значень (термів) вихідної лінгвістичної змінної {«Небезпечна (Danger)», «Невизначена (None)», «Безпечна (Safe)»}; X – множина значень (область міркувань),  $X \in [0; 100]$ ; G – процедура агрегації умов (нових термів); M – функція формування нечіткої множини значень для кожного терма цієї лінгвістичної змінної на універсумі X цієї змінної. Відповідно до отриманих даних, для вибору типу

функції приналежності побудовано дві моделі систем нечіткого виведення: з трапецеїдальною та двосторонньою гаусовою функцією приналежності. Так, область приналежності вхідної змінної «А», для терму «Невизначена (None)» у системі з трапецеїдальною функцією приналежності задано умовою (4), у системі з гаусовою функцією приналежності (рис. 1) – умовою (5).

$$MF(x) = \begin{cases} 1 - \frac{39-x}{12}, & 39 \leq x \leq 51; \\ 1, & 51 < x \leq 57; \\ 1 - \frac{x-57}{9}, & 57 < x \leq 66; \\ 0, & x \notin (39, 66). \end{cases} \quad (4)$$

$$MF(X) = \begin{cases} e^{-(x-51)^2/2a_1^2}, & x < 51, \quad a_1=12; \\ 1, & 51 \leq x \leq 57; \\ e^{-(x-57)^2/2a_2^2}, & x > 57, \quad a_2=9. \end{cases} \quad (5)$$

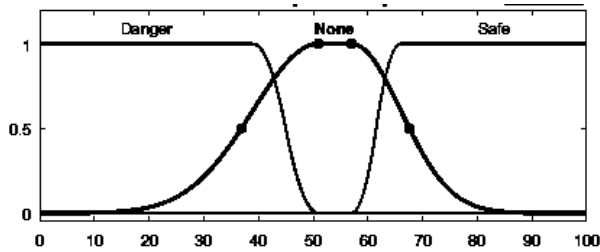


Рис. 1. Графік функцій приналежності (z-подібна, двостороння гаусова, s-подібна) вхідної змінної «А»

В якості вирішальної характеристики для обрання виду функції приналежності було обрано час, який необхідний для виконання обчислень однією та другою функціями. Для цього, системи нечіткого виведення, побудовані за допомогою MatLAB Fuzzy Logic Toolbox, було експортовано в підсистему MatLAB – Simulink (опція Simulink – Profiler Report) та виконано симуляції обома системами нечіткого виведення 20 разів для кожної з систем табл. 2. Отримано, що система нечіткого виведення з використанням трапецеїдальної функції приналежності працює в середньому швидше системи з двосторонньою гаусовою функцією приналежності на 0,06 секунди. Надалі, для моделювання обрано трапецеїдальну функцію приналежності.

База правил формується на основі сформованих умов та висновків, тобто вхідних та вихідних лінгвістичних змінних. Якщо набирати усі правила методом перебору, то база правил даної системи буде містити в собі 243 різні правила. Аналіз бази правил показав що база є надмірною і потребує оптимізації [24]. Для пришвидшення розрахунків, було проведено оптимізацію методом часткового опису. Для цього виконано попарне врахування нечітких множин вхідних змінних системи нечіткого виведення для методу повного перебору. Отримані пари аналізувались незалежно від значень трьох інших входів системи. Правила описувались за таким шаблоном:

– якщо вхідна змінна А = «нечітка множина змінної А» та (логічна операція «&&») вхідна змінна В = «нечітка множина змінної В», тоді вихідна змінна F = «нечітка множина змінної F»:

$$A = \overline{1...3}, B = \overline{1...3}, A \neq B, F = \overline{1...3}.$$

Таким чином було перебрано всі можливі пари нечітких множин вхідних змінних без повторювань, що дозволило значно скоротити кількість правил:

– на першому кроці було порівняно вхід А зі входами В, С, D, E:  $9 + 9 + 9 + 9 = 36$  правил;

– на другому кроці було порівняно вхід В зі входами С, D, E:  $9 + 9 + 9 = 27$  правил;

– на третьому кроці було порівняно вхід С зі входами D, E:  $9 + 9 = 18$  правил;

на четвертому кроці біло порівняно вхід D з входом E: 9 правил. Всього таким підходом отрима-

но:  $36 + 27 + 18 + 9 = 90$ . Фрагмент такої бази правил системи нечіткого виводу наведено на рис. 2.

Таблиця 2. Швидкість ідентифікації з використанням трапецеїдальної та гаусової функції приналежностей

№	Час моделювання, с	
	Трапецеїдальна функція приналежності	Асиметрична гаусова функція приналежності
1	17,56	12,73
2	10,22	10,27
3	9,77	11,59
4	11,98	10,73
5	10,11	11,58
6	10,31	9,97
7	10,14	9,94
8	10,03	10,41
9	10,81	10,86
10	10,17	10,05
11	9,66	10,33
12	9,59	10,67
13	10,22	9,83
14	9,91	10,31
15	9,89	10,22
16	9,58	10,75
17	10,5	10,44
18	10,7	10,98
19	9,97	10,55
20	10,42	10,63
<b>Середнє</b>	<b>10,58</b>	<b>10,64</b>

1. If (A is None) and (B is Danger) then (F is Virus) (1)
2. If (A is None) and (B is None) then (F is None) (1)
3. If (A is None) and (B is Safe) then (F is Safe) (1)
4. If (A is Danger) and (B is Danger) then (F is Virus) (1)
5. If (A is Danger) and (B is None) then (F is Virus) (1)
6. If (A is Danger) and (B is Safe) then (F is None) (1)
7. If (A is Safe) and (B is Danger) then (F is None) (1)
8. If (A is Safe) and (B is None) then (F is Safe) (1)
9. If (A is Safe) and (B is Safe) then (F is Safe) (1)
10. If (A is None) and (C is Danger) then (F is Virus) (1)
11. If (A is None) and (C is None) then (F is None) (1)

Рис. 2. Фрагмент бази правил системи нечіткого виведення

Так як результат акумуляції для кожної вихідної лінгвістичної змінної визначається як об'єднання нечітких множин всіх підвисновків нечіткої бази правил щодо відповідної лінгвістичної змінної, то точність методу після мінімізації кількості правил не зміниться.

Результат оптимізації бази правил, сформованих методом часткового опису (90 правил), показали, що швидкість ідентифікації зросла і складає 1,96 с. проти 10,64 с., табл. 3.

Результати моделювання методу ідентифікації стану КС на основі системи нечіткого виведення Мамдані наведено на рис. 3.

Проведено тестування розробленої системи, яке показало, що ймовірність виявлення шкідливого програмного забезпечення з урахуванням помилкових спрацьовувань, становить 96.5%. рис. 4.

Таблиця 3. Результати моделювання Simulink

№ з/п	Час моделювання, с	№ з/п	Час моделювання, с
1	1,98	3	2
2	2,16	4	1,78
5	1,81	13	2,08
6	1,89	14	2,13
7	1,89	15	1,91
8	1,84	16	1,91
9	1,86	17	1,95
10	1,95	18	2,06
11	2,09	19	1,89
12	1,92	20	2,02
<b>Середнє значення</b>		<b>1,96</b>	

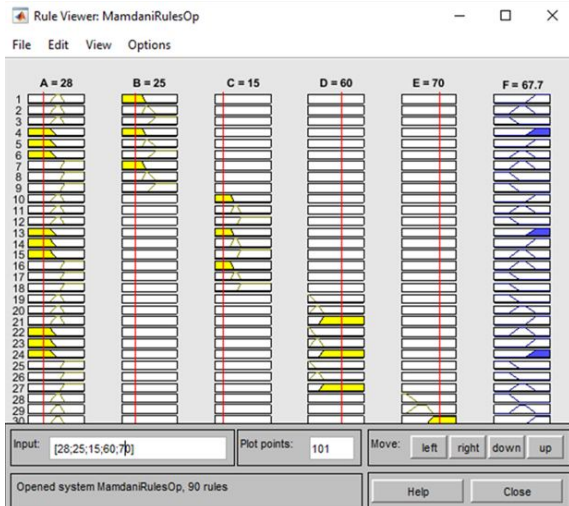


Рис. 3. Моделювання системи нечіткого виведення

## Висновки

Розглянуто методи ідентифікації аномального стану комп'ютерних систем. З метою вибору вхідних

даних проаналізовано РЕ-структуру шкідливого та безпечного програмного забезпечення, виділено API-функції для подальшого аналізу та виконано їх оцінку за допомогою апарату лінійного програмування. Розроблено метод ідентифікації стану КС на основі нечіткого виведення Мамдані. Проведено дослідження щодо вибору типу функції приналежності.

Виконано мінімізацію кількості правил методом часткового опису за рахунок попарного врахування нечітких множин вхідних змінних для методу повного перебору, що дозволило збільшити швидкість методу ідентифікації в 5 разів.

Проведено тестування розробленого методу ідентифікації, яке показало, що ймовірність виявлення аномального стану, з урахуванням помилкових спрацьовувань, становить 96.5%.

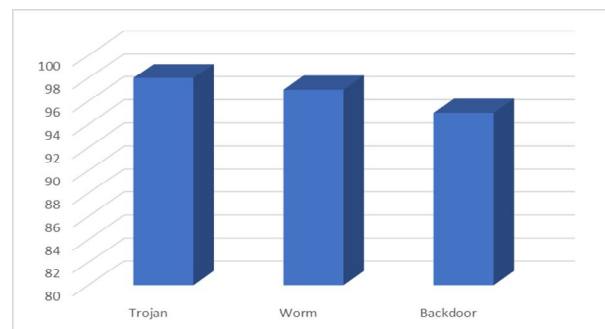


Рис. 4. Результати тестування системи

Подальші дослідження технологій ідентифікації стану об'єктів можуть бути виконані в дослідженні нечіткої кластеризації. Це дозволить одному і тому ж об'єкту належати одночасно кільком кластерам, але з різним ступенем приналежності, що підвищить точність ідентифікації стану комп'ютерної системи.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Маккаффи Дж. Кластеризация данных с использованием наивного байесовского вывода. [Електронний ресурс], – Режим доступу: <http://msdn.microsoft.com/ru-ru/magazine/jj991980.aspx>.
- Лифшиц Ю. Метод опорных векторов. [Електронний ресурс], – Режим доступу: <http://yury.name/internet/07ianote.pdf>.
- Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.
- Семенов С.Г. Защита данных в компьютеризированных управляющих системах (монография). / С.Г. Семенов, В.В. Давыдов, С.Ю. Гавриленко // «LAP LAMBERT ACADEMIC PUBLISHING»: Germany, 2014. – 236 с. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
- Энгельгардт В. В. Генетический алгоритм структурно-параметрической идентификации линейных динамических систем с помехами на входе и выходе / В. В. Энгельгардт // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2013. - № 4 (28). С. 5-18.
- Sen A Regression Analysis. Theory, Methods, and Applications / A. Sen, M. Srivastava, // Springer-Verlag, Berlin, 2011, – 264 p.
- Weedmark David. "The Advantages & Disadvantages of a Multiple Regression Model." Sciencing, 2018, [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://sciencing.com/advantages-disadvantages-multiple-regression-model-12070171.html>.
- Flom Peter. "The Disadvantages of Linear Regression." Sciencing, 2018, [Електронний ресурс], – Режим доступу <https://sciencing.com/disadvantages-linear-regression-8562780.html>. (дата звернення: 04.12.2018)
- Everitt, Brian Cluster analysis. / Everitt, Brian // Chichester, West Sussex, U.K: Wiley, 2011, – 330 p., ISBN 9780470749913, (дата звернення: 04.12.2018).
- Сулов С.А. "Кластерный анализ: сущность, преимущества и недостатки" / С.А. Сулов // Вестник НГИЭИ // Н. Новгород: 2010. – Т. 1, N. 1, С. 51-57.
- Barbara Illowsky Introductory Statistics / Barbara Illowsky, Susan Dean // OpenStax CNX, 2014, – 905 p.
- Касперский К. Играй, как «Лаборатория Касперского»: компания открывает доступ к своей базе знаний о киберугрозах в рамках нового бизнес-сервиса – Режим доступу: [https://www.kaspersky.ru/about/press-releases/2017\\_kompaniya-otkryvaet-dostup-k-svoey-baze-znaniy-o-kiberugrozakh-v-ramkakh-novogo-biznes-servisa](https://www.kaspersky.ru/about/press-releases/2017_kompaniya-otkryvaet-dostup-k-svoey-baze-znaniy-o-kiberugrozakh-v-ramkakh-novogo-biznes-servisa).
- Kumar S.V.A. Anomaly based Intrusion Detection using Modified Fuzzy Clustering. International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence. 2017.– № 4(6), pp.54-59. DOI 10.9781/ijimai.2017.469

14. Ghosh S. "Network anomaly detection using a fuzzy rule-based classifier" / S. Ghosh, A. Pal, A. Nag, S. Sadhu and R. Pati, //Computer Communication and Electrical Technology, 2017 , pp. 61 -65.
15. Ali Feizollah. Anomaly Detection Using Cooperative Fuzzy Logic Controller/Conference Paper in Communications in Computer and Information Science · August 2013, pp 220-231, DOI: 10.1007/978-3-642-40409-2\_19
16. Корченко А.А. Система выявления аномального состояния в компьютерных сетях / А.А. Корченко // Безпека інформації. –К.: 2012. – № 2 (18). С. 80-84.
17. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010.– Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.
18. V. Manikandan, V. Porkodi, Amin Salih Mohammed and M. Sivaram (2018), "Privacy preserving data mining using threshold based fuzzy cmeans clustering", *ICTACT Journal On Soft Computing*, 2018, Vol. 09, Issue 01, pp. 1813-1816.
19. Amin Salih Mohammed, D Yuvaraj, M. Sivaram Murugan, V. Porkodi, "Detection and removal of black hole attack in mobile ad hoc networks using GRP protocol", *International Journal of Advanced Computer Research*, vol. 9, no. 6, pp. 1-6, 2018, DOI: <http://doi.org/10.26483/ijarcs.v9i6.6335>
20. Saravana Balaji B., Amin Salih Mohammed, Chiai Al-Atroshi, "Adaptability of SOA in IoT Services – An Empirical Survey", *International Journal of Computer Applications*, vol. 182(31), pp. 25-28, 2018, DOI: <http://doi.org/10.5120/ijca2018918249>
21. Корченко А.А. Система формирования нечетких эталонов сетевых параметров / А.А. Корченко // Захист інформації. – К.: 2013. – Т.15, №3. С. 240-246.
22. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. - М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.
23. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. - СПб: БХВ-Петербург, 2005. - 736 с.
24. Gavrylenko S. Development of a heuristic antivirus scanner based on the file's PE-structure analysis / S.Yu. Gavrylenko, M.S. Melnyk, V. V. Chelak// Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія.– Вінниця: ВНТУ, 2017.– №3 (40), С. 23-29.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,  
Державний університет телекомунікацій, Київ  
Received (Надійшла) 24.10.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 09.01.2019

#### Разработка метода идентификации аномального состояния компьютерной системы на основе нечеткой логики

С. Ю. Гавриленко

**Предметом** статьи является исследование методов идентификации аномального состояния компьютерных систем. **Целью** статьи является разработка метода идентификации аномального состояния компьютерной системы на основе метода нечеткой логики. **Задачи:** исследовать существующие методы идентификации аномального состояния компьютерных систем; с целью выбора входных данных проанализировать PE-структуру вредного и безопасного программного обеспечения выделить признаки; оценить признаки с помощью аппарата линейного программирования для дальнейшего анализа; разработать метод идентификации состояния компьютерной системы на основе нечеткой логики, исследовать и обосновать выбор типа функции принадлежности, выполнить минимизацию количества правил, провести тестирование. Используемыми **методами** являются: аппарат линейного программирования и аппарат нечеткой логики. Получены следующие **результаты**. Разработан метод идентификации состояния компьютерной системы на основе нечеткой логики. Для этого выбрано признаки вредного и безопасного программного обеспечения и оценены их с помощью аппарата линейного программирования, обоснован выбор типа функции принадлежности, выполнено минимизацию количества правил. Проведено тестирование предложенного метода. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: разработан метод идентификации состояния компьютерной системы на основе нечеткой логики Мамдани, обоснован выбор типа функции принадлежности, выполнено минимизацию количества правил методом частичного описания за счет парного учета нечетких множеств входных переменных, что позволило увеличить быстроедействие метода идентификации в 5 раз.

**Ключевые слова:** вредоносное программное обеспечение, PE-структура файла, аномальное состояние, компьютерная система, нечеткая логика Мамдани.

#### Development of a method for identifying abnormal computer system based on fuzzy logic

S. Gavrilenko

**The subject matter** of the article is investigation the methods for identifying the anomalous state of computer systems. **The goal** of the article is to develop a method for identifying the anomalous state of a computer system based on the fuzzy logic. **Tasks:** to investigate methods for identifying the anomalous state of computer systems; to analyze the RE-structure of harmful and safe software for selecting input data and select signs; to estimate these signs using a linear programming apparatus; to develop a method for identifying the state of a computer system using fuzzy logic; to investigate and chose the type of the membership function; to minimize the number of rules, to test this method. **The methods** used are: a linear programming apparatus and a fuzzy logic apparatus. The results were as follows. A method for identifying the state of a computer system based on fuzzy logic was developed. The signs of harmful and safe software was selected and evaluated using a linear programming device. The choice of the type of the membership function was well founded and the number of rules was minimized. The proposed method was tested. **Conclusion.** The scientific novelty of the obtaining results is as follows. The investigation for the selection of input data for analysis was conducted. The method of identifying the state of a computer system based on Mamdani fuzzy logic was developed. The choice of the type of membership function was founded, the number of rules using the partial description method by pairwise taking into account fuzzy sets of input variables was minimized. It increase 5 times the speed of the identification method.

**Keywords:** malware, PE file structure, abnormal state, computer system, Mamdani fuzzy logic.

М. І. Демиденко

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

## МОБІЛЬНИЙ НАВЧАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС

Забезпечення якісного проведення всіх видів навчальних занять для студентів інженерних спеціальностей (особливо ІТ) вимагає серйозних капіталовкладень (проектор, мережа, комп'ютерна техніка, і т.п.). Крім того частина студентів може використовувати гаджети під час занять не за призначенням. Отже, актуальним є завдання залучення обчислювальних потужностей мобільних пристроїв у навчальному процесі. **Мета:** реалізувати мобільний навчальний комплекс з використання пристроїв слухачів, розробити методику його використання. **Задачі:** підібрати ефективне комунікаційне обладнання, серверне та клієнтське програмне забезпечення. Сформулювати вимоги та розробити відсутнє програмне забезпечення. Розробити методику використання технології для різних типів навчальних занять. Провести апробацію, з метою визначення оптимальної конфігурації обладнання та максимальної кількості слухачів, задіяних в мобільному навчальному комплексі. Для реалізації концепції мобільного навчального комплексу необхідно: 1. Створити автономну локальну мережу. 2. Знайти або реалізувати програмні засоби візуалізації навчального контенту. 3. Знайти або реалізувати засоби для проведення практичних і лабораторних занять. 4. Знайти або реалізувати засоби для контролю знань. 5. Усі зазначені засоби повинні бути незалежними від електричної мережі. **Висновки:** в роботі запропонована технологія та методика використання мобільних пристроїв в навчальному процесі. Обґрунтований вибір обладнання, протоколів, програмного забезпечення. Визначені оптимальні технічні характеристики серверних та клієнтських пристроїв для різних типів навчальних занять. Спроектовано та розроблено програмне забезпечення для тестового контролю знань для ОС Android. Проведено апробацію на прикладі дисциплін спеціальності «Комп'ютерні науки» пов'язаних з програмуванням. За результатами апробації визначена оптимальна кількість слухачів мобільного навчального комплексу.

**Ключові слова:** мобільний навчальний комплекс, DLNA, RTSP, навчальний процес.

### Вступ

Компанія Gartner, яка є одним з лідерів по дослідженнях у сфері інформаційних технологій, оголосила, що в першому кварталі 2018 року було продано більше 384 мільйонів смартфонів, з них 86,1% це Android – пристрої [1]. Основними користувачами таких пристроїв є молодь. Як показує досвід, більш 95% студентів мають смартфон або планшет. Тому є можливість задіяти такі пристрої в навчальному процесі [2].

**Актуальність теми.** Забезпечення якісного проведення всіх видів навчальних занять для студентів інженерних спеціальностей (особливо ІТ) вимагає серйозних капіталовкладень (проектор, мережа, комп'ютерна техніка, і т.п.). Крім того частина студентів може використовувати гаджети під час занять не за призначенням. Отже, актуальним є завдання залучення обчислювальних потужностей мобільних пристроїв у навчальному процесі.

**Аналіз останніх досліджень.** Більшість публікацій присвячених використанню мобільних пристроїв описують використання окремих функцій пристроїв в навчальному процесі. Так в роботах [3],[4] визначена сутність мобільного навчання, його співвідношення з дистанційним й електронним навчанням, а також окреслені його переваги і недоліки. Розглянуті методики використання окремих функцій мобільних пристроїв в навчальному процесі. Але повністю готової до впровадження технології не представлено.

**Мета роботи** – розробити технологію мобільного навчального комплексу, який забезпечить якісне проведення всіх видів навчальних занять у будь-яких приміщеннях так і за їхніми межами з використанням мобільних пристроїв студентів.

Обчислювальні й комунікаційні можливості сучасних смартфонів і планшетів, дозволяють організувати якісну демонстрацію навчального матеріалу, провести лабораторне заняття, контроль знань. Для реалізації концепції мобільного навчального комплексу необхідно:

1. Створити автономну локальну мережу.
2. Знайти або реалізувати програмні засоби візуалізації навчального контенту.
3. Знайти або реалізувати засоби для проведення практичних і лабораторних занять.
4. Знайти або реалізувати засоби для контролю знань.
5. Усі зазначені засоби повинні бути незалежними від електричної мережі.

В якості серверного обладнання будемо використовувати пристрої на платформах Android та Windows, а в якості клієнтських пристроїв на платформі Android, Windows та IOS. Загальна структура мережі мобільного навчального комплексу представлена на рис. 1. Основою локальної мережі пропонується використати мобільний Wi-Fi роутер стандарту 802.11n з автономним живленням. Як мобільний Wi-Fi роутер пропонуються такі пристрої: Tenda 3G150B (ємність акумулятора 1500 мА/год); Xiaomi Zmi MF855 (ємність акумулятора 7800 мА/год, функція NAS).

Тестування мережі на базі Tenda 3G150B показало, що роутер без втрати швидкості підтримує до 40 підключень (без підключення WAN). Час автономної роботи становить близько 4 годин.

### Засоби візуалізації

Основними типами контенту, які задіюються для візуалізації навчального матеріалу, є такі: електронні презентації, зображення, відео, аудіо.



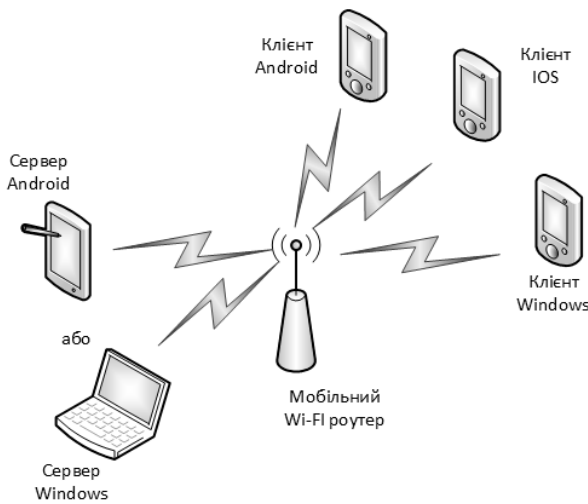


Рис. 1. Структура мережі мобільного навчального комплексу

Отже для передавання відео, аудіо- зображень можна задіяти технологію Digital Living Network Alliance (DLNA) – набір стандартів, що дозволяють сумісним пристроям передавати й приймати домашньою мережею різний медіа-контент (зображення, музику, відео), а також відобразити його в режимі реального часу.

- У якості серверів пройшли апробацію такі:
- DLNA Home Media Server (для Windows);
  - DLNA Server (для Android).
- У якості клієнтів пройшли апробацію такі:
- VLC Player (для Windows, Android, IOS);
  - Mediahouse ( для Android).

Приклад використання технології DLNA наведено на рис. 2.

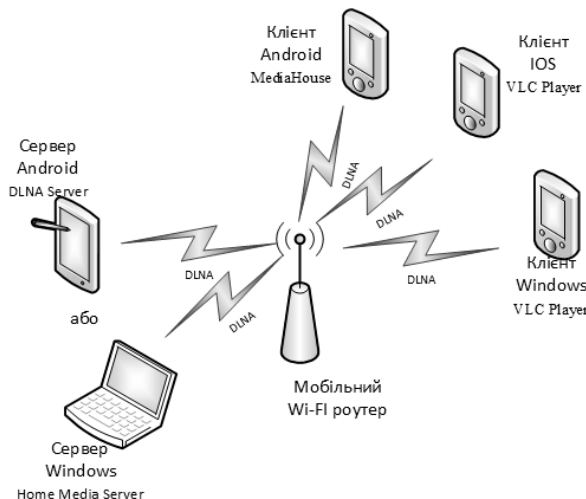


Рис. 2. Використання технології DLNA

У результаті дослідження отримані такі результати. *Переваги:*

- низьке навантаження на серверне обладнання (DLNA Server, встановлений на планшети, дозволив передавати медіа-контент на аудиторію більше 30 слухачів, без помітного навантаження на пристрій);
- можливість створення декількох конфігурацій сервера для різних груп слухачів;

- можливість передавання відео, аудіо, зображень.

*Недоліки:*

- відсутність можливості віщання електронних презентацій;
- відсутність можливості масштабування зображень на пристроях з екраном менш ніж 3,5 дюйма.

Для демонстрації презентацій можна задіяти технологію Real Time Streaming Protocol (RTSP) – потоковий протокол реального часу – протокол, що дозволяє користувачеві віддалено відтворювати потік мультимедійних даних (аудіо й відео) за допомогою гіперпосилання й мультимедійного плеєра.

У якості серверів пройшли апробацію:

- Open Broadcaster Software (для Windows),
- Screen Stream Mirroring для Android).

У якості клієнтів: – VLC Player ( для Windows, Android, IOS), RTSP Player ( для Android) (рис. 3).

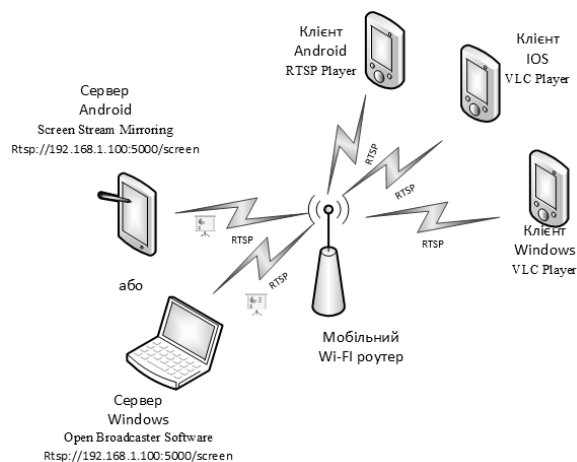


Рис. 3. Використання протоколу RTSP

У результаті дослідження отримані такі результати. *Переваги:*

- середнє навантаження на серверне обладнання;
- можливість проводити демонстрацію роботи всіх додатків, установлених на сервері (наприклад, проводити демонстрації виконання програмного коду для ІТ спеціальностей).

*Недоліки:*

- відсутність підтримки протоколу Android-пристроями версії нижче 4.0.

**Засоби для проведення практичних і лабораторних занять.** Це питання розглянуте на прикладі дисциплін спеціальності «Комп'ютерні науки». Для проведення практичних і лабораторних занять, на Android-пристроях, по дисциплінам пов'язаних із програмуванням обрані такі програмні продукти:

- AIDE (середовище розробки на Java);
  - Cppdroid (інтерпретатор C/C++);
  - Iassembly (інтерпретатор Assembler);
  - Pascal N-IDE (інтерпретатор Pascal);
  - Android Web Developer (інтегроване середовище розробки PHP, CSS, JS, HTML, JSON) і т.д.
- Для зберігання методичних матеріалів і приймання результатів рекомендується використовувати протокол FTP (рис. 4).

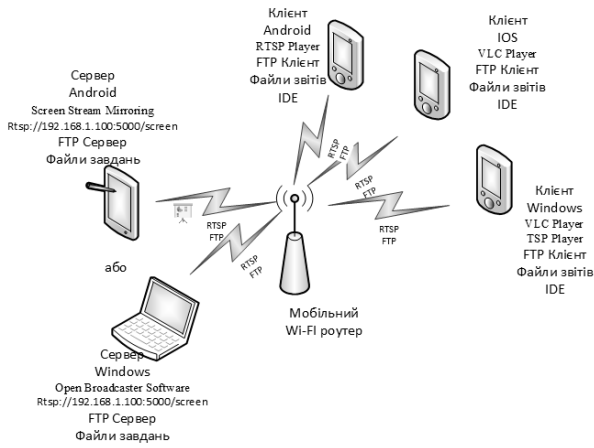


Рис. 4. Організація лабораторних (практичних) занять

### Засоби контролю знань

Пошук по <https://play.google.com> показав, що практично всі додатки для тестового контролю знань є вузько направлені на одну або кілька предметних областей і не мають можливості виконувати користувацькі тести. Отже, для реалізації концепції мобільного комплексу, необхідно розробити додаток з такими функціями: завантаження тесту з шифрованого xml файлу; розшифрування вмісту тесту; вибір правильної відповіді; вибір декількох правильних відповідей; введення правильного значення тестового завдання; графічне оформлення правильних і неправильних відповідей; таймер відліку часу на вибір відповіді; підрахунок і відображення кількості набраних балів; виведення результату на екран; автоматичне відправлення результату у вигляді SMS повідомлення на телефон викладачеві після проходження тесту.

Розроблений програмний продукт складається з двох компонентів: «Test Creator» - Windows-додаток для створення тестів та «Tester» - Android-додаток для виконання тестів (рис. 5). На рис. 6 представлена методика організації тестового контролю знань. Вона складається із трьох кроків: 1) завантаження файлу тесту з локального FTP сервера; 2) виконання тестового завдання; 3) автоматичне відправлення результату у вигляді SMS на телефон.



Рис. 5. Інтерфейс головного меню Android-дodatка

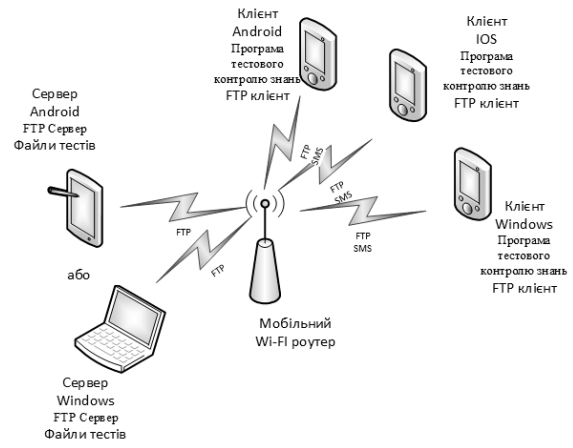


Рис. 6. Організація тестового контролю знань

### Методика впровадження технології для Android пристроїв

1. Налаштувати Wi-Fi роутер, як відкриту точку доступу з DHCP сервером.
2. До початку занять встановити й налаштувати необхідне ПО для сервера (джерело: Play Market):
  - a. FTP сервер: Wi-Fi Ftp-Сервер або аналог;
  - b. RTSP сервер: Screen Stream Mirroring;
  - c. DLNA сервер: DLNA Server.
3. Установити необхідне ПЗ для клієнта.
  - a. FTP клієнт: браузер або клієнт FTP Android;
  - b. RTSP клієнт: RTSP Player або VLC Player;
  - c. DLNA клієнт: Media House або VLC Player;
4. Програма тестового контролю знань
4. Забезпечити підключення всіх учасників до мережі (контроль через системні утиліти роутера)
5. Запустити необхідний сервер (DLNA або RTSP, одночасно сервера не запускаєть).
6. Підключити клієнтів до обраного сервера.
7. Запустити контент.

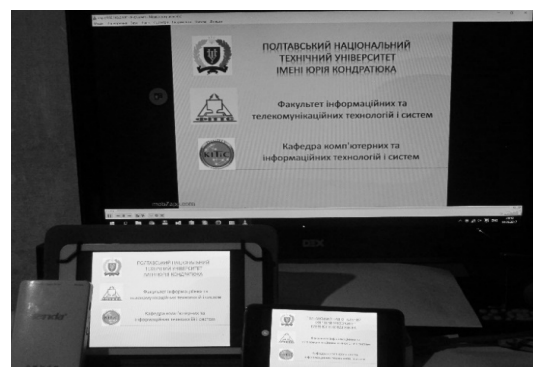


Рис. 7. Фото використання протоколу RTSP на різних пристроях (у якості сервера використаний планшет)

### Висновки

Розроблена технологія та методика використання мобільного навчального комплексу дозволить організувати навчальний процес на більш високому рівні без серйозних капіталовкладень. Забезпечить можливість проведення занять за межами навчального закладу (наприклад, на підприємствах). Більшість розглянутих у роботі програмних продуктів є безкоштовними. За результатами проведення навча-

льних занять були отримані такі результати (Wi-Fi-роутер. Tenda 3G150B, сервер DLNA Планшет Dex ip800-16GB, сервер RTSP Планшет Nomi C070010 Corsa): при використанні технології DLNA досить такої конфігурації Android пристрою: двоядерний процесор, пам'ять 1 Гб, Android 4.0; при використанні технології RTSP досить такої конфігурації Android пристрою: чотириядерний процесор, пам'ять 1 Гб, Android 5.0.

Для клієнтських Android пристроїв: одноядерний процесор, пам'ять 512 Мб, Android 4.0.

Мінімально необхідний час підготовки мобільного навчального комплексу складає 7-10 хвилин

Максимальна аудиторія, при наведеній вище конфігурації обладнання складає 35 – 40 слухачів.

З використанням більш потужних комунікаційних та серверних пристроїв кількість слухачів може бути збільшена.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кулеш С. Gartner: мировой рынок смартфонов вернулся к росту, в первом квартале было продано 384 млн смартфонов. – 2018. – Режим доступа <https://itc.ua/news>.
2. Демиденко М. І. Использование мобильных устройств в учебном процессе // Збірник праць 66 наук. конф. професорів, викладачів наукових працівників, аспірантів та студентів ПНТУ ім. Ю.Кондратюка. – 2014. – Т. 3. – С. 48-49.
3. Бугайчук К. Л. Мобільне навчання: сутність і моделі впровадження в навчальний процес вищих навчальних закладів МВС України / К.Л. Бугайчук // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2012. – №1(27).
4. Наливайко О. О. Визначення суті поняття «мобільного навчання» / О. О. Наливайко, Черноус Н. А. // Наукові записки кафедри педагогіки. – Харків, 2017. – Вип. 40.
5. Демиденко М.И. Концепция мобильного учебного комплекса / М.И. Демиденко, А.В. Корниенко // Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС 2017: тези доп. 12-ої міжнар. НТК. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – С. 66-70.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 21.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.01.2019

#### Мобильный учебный комплекс

М. И. Демиденко

Обеспечение качественного проведения всех видов учебных занятий для студентов инженерных специальностей (особенно ИТ) требует серьезных капиталовложений (проектор, сеть, компьютерная техника и т.п.). Кроме того, часть студентов может использовать гаджеты во время занятий не по назначению. Итак, актуальной является задача привлечения вычислительных мощностей мобильных устройств в учебном процессе. Цель: реализовать мобильный учебный комплекс по использованию устройств слушателей, разработать методику его использования. Задача: подобрать эффективное коммуникационное оборудование, серверное и клиентское программное обеспечение. Сформулировать требования и разработать отсутствующее программное обеспечение. Разработать методику использования технологии для различных типов учебных занятий. Провести апробацию, с целью определения оптимальной конфигурации оборудования и максимального количества слушателей, задействованных в мобильном учебном комплексе. Для реализации концепции мобильного учебного комплекса необходимо: 1. Создать автономную локальную сеть. 2. Найти или реализовать программные средства визуализации учебного контента. 3. Найти или реализовать средства для проведения практических и лабораторных занятий. 4. Найти или реализовать средства для контроля знаний. 5. Все указанные средства должны быть независимыми от электрической сети. Выводы: в работе предложена технология и методика использования мобильных устройств в учебном процессе. Обоснован выбор оборудования, протоколов, программного обеспечения. Определены оптимальные технические характеристики серверных и клиентских устройств для различных типов учебных занятий. Спроектировано и разработано программное обеспечение для тестового контроля знаний для ОС Android. Проведена апробация на примере дисциплин специальности «Компьютерные науки» связанных с программированием. По результатам апробации определено оптимальное количество слушателей мобильного учебного комплекса.

**Ключевые слова:** мобильный учебный комплекс, DLNA, RTSP, учебный процесс

#### Mobile educational complex

M. Demydenko

Ensuring high-quality conducting of all types of training classes for students of engineering specialties (especially IT) requires serious investment (projector, network, computer equipment, etc.). In addition, some students may use gadgets during appointments. Therefore, the task of attracting computing power of mobile devices in the learning process is relevant. The aim: to implement a mobile educational complex for the use of listener devices, to develop a methodology for its employment. The objectives: to select effective communication equipment, server and client software. To formulate the requirements and develop missing software. To develop a technique for using technology for different types of training sessions. To test the complex in order to determine the optimal configuration of equipment and the maximum number of students involved in the mobile training complex. To implement the concept of a mobile training complex it is necessary: 1. Create an autonomous local area network. 2. To find or implement software for the visualization of educational content. To find or realize means for conducting practical and laboratory classes. 4. Find or implement means for controlling knowledge. 5. All of these facilities should be independent of the electrical grid. The conclusions: the technology and methods of using mobile devices in the educational process are proposed in the work. The choice of equipment, protocols, software is grounded. The optimum specifications of server and client devices for different types of training sessions are determined. Software for test control of knowledge for Android OS is designed and developed. Approbation is performed on an example of disciplines of the specialty "Computer Science" related to programming. According to the results of approbation the optimal number of students of the mobile educational complex is determined.

**Keywords:** mobile educational complex, DLNA, RTSP, educational process

Д. О. Ільїн, С. Г. Семенов

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

## АНАЛІЗ ТА ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ АРХІТЕКТУРНИХ РІШЕНЬ ПРОГРАМНИХ РОБОТІВ ДЛЯ ПРОЦЕСІВ З ВЕЛИКОЮ КІЛЬКІСТЮ ТРАНЗАКЦІЙ

Аналіз нової області в сфері інформаційних технологій - RPA показав одну з актуальних завдань генерації рішення автоматизації бізнес процесів. Це визначення архітектурного рішення, яке визначає функціонування робота. Аналіз вище наведених прикладів показав переваги і недоліки кожної з схем рішень в ситуації автоматизації процесу з великою кількістю транзакцій. Розкрита сутність та актуальність теми RPA, а також існуючих архітектурних рішень програмних роботів та представлені переваги та недоліки в існуючих рішеннях в ситуації процесів з великою кількістю транзакцій. В висновку запропоноване можливе вирішення проблеми з виділенням переваг та недоліків. Якщо розглядати шаблон Multiple Instances Requiring Synchronization, то архітектурне рішення підпроцесу можна описати подібно вище наведеної машині станів, таким чином взявши властивість стійкості до збоїв, але при цьому робота кожної транзакції буде незалежна один від одного, тобто паралельне виконання. Таким чином, з'являється можливість зменшити час виконання процесу і зникне дублювання виконання елементів архітектурного рішення всього процесу. Але варто враховувати, що кожен екземпляр В (описаний як машина станів) повинен бути незалежний один від одного (тобто не перебувати в послідовності). Недоліком природно є збільшення ресурсів на виконання, тобто збільшення кількості локальних машин, на кожній з яких виконується одна транзакція. Тому такий підхід доречний для великих процесів з великою кількістю транзакцій.

**Ключові слова:** RPA, програмні роботи, архітектурні рішення, патерни архітектурних рішень.

### Вступ

Щоб звільнити співробітників для виконання більш цінної роботи, ІТ-директора все частіше звертаються до методів роботизованої автоматизації процесів. Але, щоб така автоматизація приносила реальну користь бізнесу, необхідно грамотне проектування, планування і керівництво. Сьогодні ІТ-директора активно беруть на озброєння нову методику, що отримала назву «роботизованою автоматизації процесів» (robotic process automation, RPA). Вони розраховують з її допомогою оптимізувати діяльність компанії і зменшити витрати. RPA автоматизує повсякденні бізнес-процеси, описувані правилами, дозволяючи співробітникам приділяти більше часу обслуговування клієнтів і іншим більш цінним завданням [1]. Експерти вважають RPA тимчасовим рішенням на шляху до автоматизації, що реалізується засобами штучного інтелекту.

Розробка програмного робота для автоматизації процесів вимагає проходження наступних етапів: підготовка RPA (налаштування оточення розробки, оцінка застосування можливостей RPA), проектування рішення автоматизації процесів (формалізація процесу автоматизації, проектування архітектурного рішення, проектування сценаріїв тестів), побудова RPA рішення (побудова архітектурного рішення, тестування на етапах реалізації, підготовка тестування RPA рішення та тестових даних), тестування, доробка, технічна підтримка [2].

Згідно з вищепереліченими етапами в середовищі розробників особлива увага приділяється генерації архітектурного рішення (один з етапів побудови RPA рішення) [3]. Особливо важливою ця задача представляється для процесів з великою кількістю транзакцій

**Метою даної статті** є аналіз і порівняльні дослідження існуючих архітектурних рішень (патернів) для процесів з великою кількістю транзакцій, і виявлення переваг і недоліків кожної з них.

### Основна частина

Проведені дослідження показали, що машина станів або кінцевий автомат (FSM) або автомат з кінцевим станом (FSA, множина: автомати) є математичною моделлю обчислення (в даній статті розглядається шаблон кінцевого автомата, розроблений американською компанією UiPath). Це абстрактна машина (рис. 1), яка може перебувати точно одному з кінцевого числа станів в будь-який момент часу.

FSM може переходити від одного стану до іншого у відповідь на деякі зовнішні входи, зміна від одного стану до іншого називається переходом. FSM визначається списком його станів, його початковий стан і умови для кожного переходу.

Основні правила при використанні кінцевого автомата:

- оскільки система може перебувати тільки в одному стані за раз, хоча б один перехід за умовою від поточного стану до іншого повинен стати справжнім або шляхом створення умови в кодї, що працюють всередині стану, або зовнішня умова або їх комбінація;

- умови переходу з кожного стану повинні бути винятковими (два переходи не можуть бути істинними одночасно, що дозволяє мати кілька виходів і поточного).

- інше погоджене правило полягає в тому, що області дії переходу. Вся обробка повинна виконуватися всередині стану.

Проблеми, які можна вирішити за допомогою цього шаблону:

а) зберігання та читання цих змін проекту;

б) поділ запуску, виконання та завершення використання ІТ-ресурсів:

1) для всіх повторних транзакцій перезапуск використання ІТ-ресурсу;

в) запровадження надійної обробки виключень і повторів спроб транзакцій:

1) захоплення винятків за його типом;

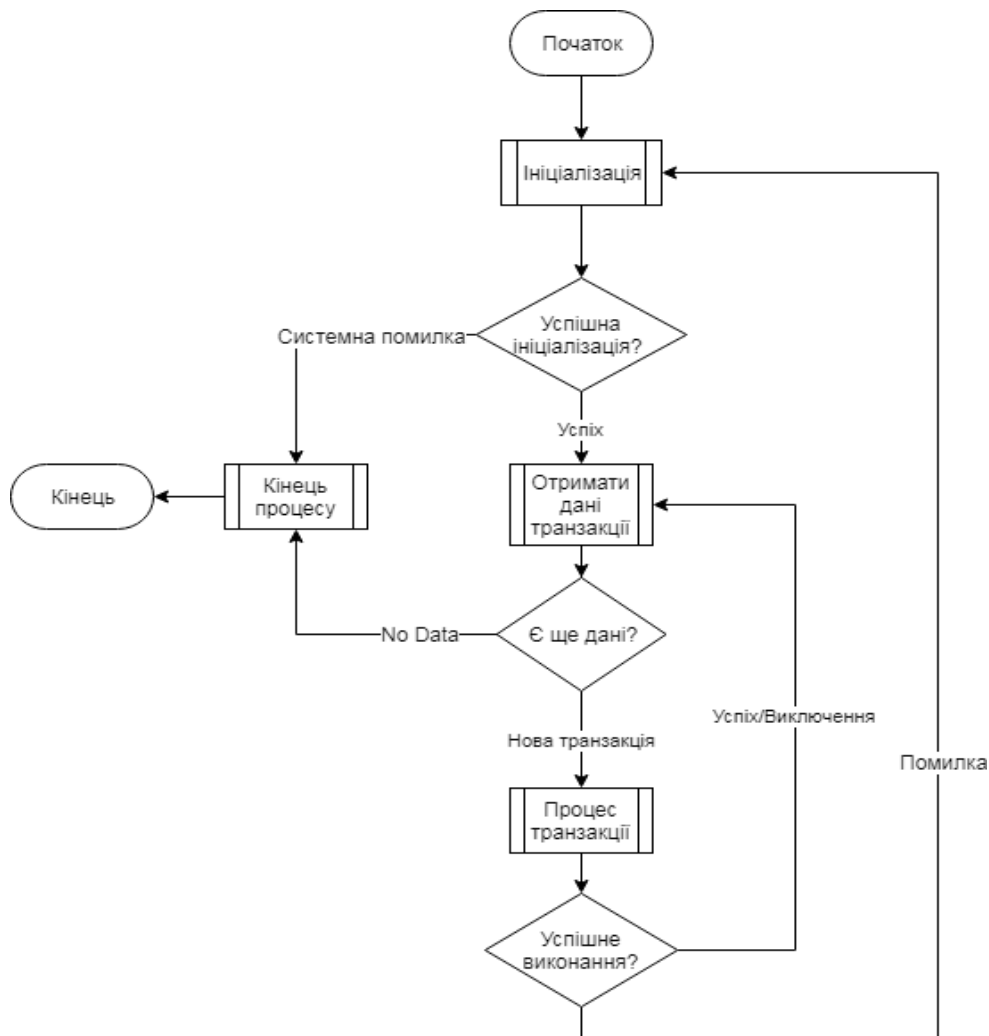


Рис. 1. Машина станів

2) використання типу виключення для повторення транзакцій, які не виконувалися із завершенням роботи робота;

г) захоплення і передача в журнал всіх видів винятків і відповідної інформації про транзакції [4].

Очевидною перевагою є поновлення виконання процесу з будь-якого його етапу виконання, документування ходу виконання процесу і облік всіх можливих реакцій на появу непередбачених збоїв. Недоліком є те, що, якщо процес містить в собі підпроцеси які виконують не зв'язні один з одним транзакції (не пов'язані за своїм основним призначенням, але це не відноситься до використання загальних ІТ-ресурсів).

На перший погляд очевидне рішення - це проектування двох (або більше, в залежності від кількості підпроцесів) роботів з однаковими архітектурними рішеннями, таким чином позбавляючи процес від одночасного використання ІТ-ресурсів, підвищуючи стійкість до збоїв в роботі [5, 6]. Однак виникає ряд зауважень: можлива ситуація необхідного використання загальних ІТ-ресурсів підпроцесами основного процесу, через що елементи архітектурного рішення дублюються і як наслідок збільшується час виконання завдань роботом. Але з іншого боку їх об'єднання в одне архітектурне рішення збільшує навантаження у використанні ІТ-ресурсів.

Безліч процесів мають проблему, пов'язану з явищем, яке називають множинне дублювання послідовного виконання спільних елементів під процесів [7–10]. З теоретичної точки зору концепція щодо цього проста і відповідає більш ніж одному логічному знаку в певному місці моделі роботи процесу, наприклад, в мережі Петрі.

З практичної точки зору це означає, що одна дія на графіку робочого процесу може запускати одночасно кілька активних екземплярів. Основна проблема з реалізацією цього шаблону архітектурного рішення Multiple Instances Requiring Synchronization (екземпляри вимагають синхронізації), наданий Технічним університетом Ейнховена (під керівництвом професора Віла ван дер Аальста) і Технологічним університетом Квінсленда (під керівництвом професора Артура тер Гофстеде), полягає в тому, що через конструктивні обмеження більшість механізмів робочого процесу не дозволяють одночасно активувати більше одного екземпляра однієї і тієї ж дії [11, 12].

У шаблоні Multiple Instances Requiring Synchronization одна транзакція активується кілька разів одночасно. Кількість екземплярів транзакцій можуть бути невідомо під час розробки. Після завершення всіх екземплярів цієї активності необхідно запустити іншу дію (рис. 2) [13].

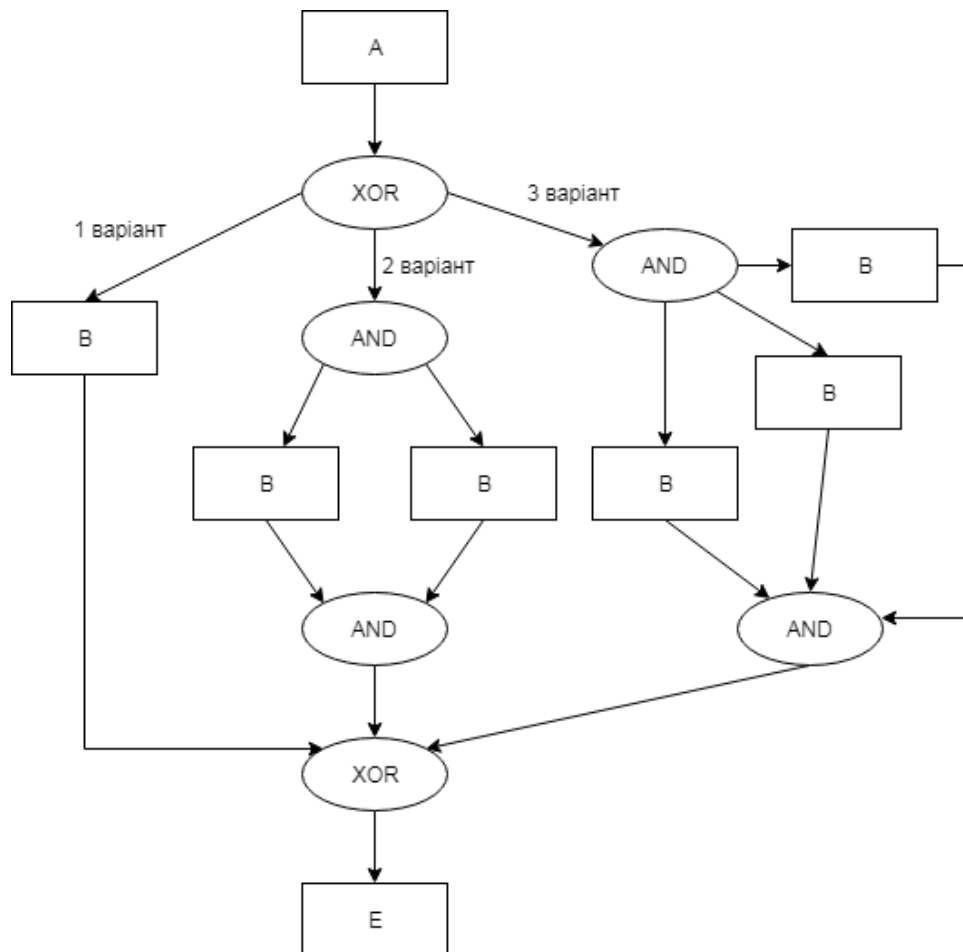


Рис. 2. Шаблон Multiple Instances Requiring Synchronization з трьома варіантами одночасного виконання транзакцій

Дане архітектурне рішення пропонує спосіб зменшення навантаження – розпаралелювання виконання транзакцій, але не враховує відмовостійкість як це є в машині станів.

З точки зору реалізації UiPath в інтеграції з його сервером з управління програмними роботами Orchestrator дозволяють розподіляти транзакції згідно доступному кількості локальних машин [14]. На початковому етапі виконання процесу необхідно визначити кількість доступних локальних машин, на кожній з яких «знаходиться» робот, який керує процесом виконання архітектурного рішення. Після чого на кожну машину формується черга з транзакцій, які повинні їх виконати локальна машина.

### Висновки

Аналіз нової області в сфері інформаційних технологій - RPA показав одну з актуальних завдань генерації рішення автоматизації бізнес процесів. Це визначення архітектурного рішення, яке визначає функціонування робота. Аналіз вище наведених прикладів показав переваги і недоліки кожної з схем

рішень в ситуації автоматизації процесу з великою кількістю транзакцій.

Таким чином, якщо розглядати шаблон Multiple Instances Requiring Synchronization, то архітектурне рішення підпроцесу (підпроцес В на схемі рис. 2) можна описати подібно вище наведеної машині станів, таким чином взявши властивість стійкості до збоїв, але при цьому робота кожної транзакції буде незалежна один від одного, тобто паралельне виконання.

Таким чином з'являється можливість зменшити час виконання процесу і зникає дублювання виконання елементів архітектурного рішення всього процесу. Але варто враховувати, що кожен екземпляр В (описаний як машина станів) повинен бути незалежний один від одного (тобто не перебувати в послідовності).

Недоліком природно є збільшення ресурсів на виконання, тобто збільшення кількості локальних машин, на кожній з яких виконується одна транзакція. Тому такий підхід доречний для великих процесів з великою кількістю транзакцій.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. UiPath Automation Handbook // UiPath. - 4 - 5 с.
2. UiPath. Business Analyst Training. Business Analyst's role - RPA Journey // UiPath. - 5с.
3. UiPath. Solution Architect. Preparation - Project Governance // UiPath. - 26с.
4. Mihai Dunareanu / UiPath REFramework Manua / Mihai Dunareanu // UiPath. - 7с.

5. Amin Salih Mohammed (2018), "modification of load balancing method in networks with wimax technology", Qalaai Zanist Journal, Vol. 3, No. 2, pp. 791-802.
6. Kuchuk G., Kovalenko A., Kharchenko V., Shamraev A., "Resource-oriented approaches to implementation of traffic control technologies in safety-critical I&C systems" in book: Green IT Engineering: Components Network and Systems Implementation, Springer International Publishing, vol. 105, pp. 313-338, 2017.
7. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010.– Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.
8. Kuchuk G. Approaches to selection of combinatorial algorithm for optimization in network traffic control of safety-critical systems / G. Kuchuk, V. Kharchenko, A. Kovalenko, E.Ruchkov // East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – 2016. –P. 1-6. doi : <https://doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655>.
9. Amin Salih Mohammed, D Yuvaraj, M. Sivaram Murugan, V. Porkodi, "Detection and removal of black hole attack in mobile ad hoc networks using grp protocol", International Journal of Advanced Computer Research, vol. 9, no. 6, pp. 1-6, 2018, DOI: <http://doi.org/10.26483/ijarcs.v9i6.6335>
10. Saravana Balaji B., A. Salih Mohammed, Chiai Al-Atroschi, "Adaptability of SOA in IoT Services – An Empirical Survey", International Journal of Computer Applications, vol. 182(31), pp. 25-28, 2018, DOI: <http://doi.org/10.5120/ijca2018918249>
11. WMP van der Aalst. Chapter 10: Three Good reasons for Using a Petri-net-based Workflow Management System. In T. Wakayama et al., Editor, Information and Process Integration in Enterprises: Rethinking documents, The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, pages 161 {182. Kluwer Academic Publishers, Norwell, 1998.
12. WMP van der Aalst, AP Barros, AHM ter Hofstede, and B. Kiepuszewski. Workflow Patterns. Unpublished (46 pages), 2000..
13. WMP van der Aalst, AP Barros, AHM ter Hofstede, B. Kiepuszewski / Advanced Workflow Patterns / WMP van der Aalst, AP Barros, AHM ter Hofstede, B. Kiepuszewski // Eindhoven: Eindhoven University of Technology. - 7 - 8 с.
14. .Emplotics / Функціональні можливості UiPath / Опис UiPath - <https://www.emplotics.com/rpa/описание-uiopath.html>.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,  
Державний університет телекомунікацій, Київ  
Received (Надійшла) 24.10.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 09.01.2019

#### Анализ и сравнительные исследования архитектурных решений программных роботов для процессов с большим количеством транзакций

Д. А. Ильин, С. Г. Семенов

*Анализ новой области в сфере информационных технологий - RPA показал одну из актуальных задач генерации решения автоматизации бизнес процессов. Это определение архитектурного решения, которое определяет функционирование работа. Анализ приведенных выше примеров показал преимущества и недостатки каждой из схем решений в ситуации автоматизации процесса с большим количеством транзакций. Раскрыта сущность и актуальность темы RPA, а также существующих архитектурных решений программных роботов и представлены преимущества и недостатки в существующих решениях в ситуации процессов с большим количеством транзакций. В заключении предложено возможное решение проблемы с выделением преимуществ и недостатков. Если рассматривать шаблон Multiple Instances Requiring Synchronization, то архитектурное решение подпроцесса можно описать подобно выше приведенной машине состояний, таким образом взяв свойство устойчивости к сбоям, но при этом работа каждой транзакции будет независимая друг от друга, то есть параллельное выполнение. Таким образом, появляется возможность уменьшить время выполнения процесса и исчезает дублирование выполнения элементов архитектурного решения всего процесса. Но стоит учитывать, что каждый экземпляр B (описан как машина состояний) должен быть независим друг от друга (т.е. не находиться в последовательности). Недостатком естественно является увеличение ресурсов на выполнение, то есть увеличение количества локальных машин, на каждой из которых выполняется одна транзакция. Поэтому такой подход уместен для больших процессов с большим количеством транзакций.*

**Ключевые слова:** RPA, программные работы, архитектурные решения, паттерны архитектурных решений..

#### Analysis and comparative studies of architectural solutions of program robots for processes with a large number of transactions

D. Ilin, S. Semenov

*Analysis of the new area in the field of information technology - RPA has shown one of the most urgent tasks of generating business automation solutions. This is the definition of the architectural solution that determines the functioning of the robot. The analysis of the above examples showed the advantages and disadvantages of each of the decision schemes in a situation of automation of the process with a large number of transactions. The essence and relevance of the RPA topic, as well as existing architectural solutions of software robots, are revealed, and the advantages and disadvantages of existing solutions in situations involving processes with a large number of transactions are presented. The conclusion suggests a possible solution to the problem with the allocation of advantages and disadvantages. If you consider the Multiple Instances Requiring Synchronization template, then the architectural subprocess solution can be described just like the above machine states, thus taking the property of stability to failures, but the work of each transaction will be independent of each other, that is, parallel execution. Thus, it is possible to reduce the time of execution of the process and disappear duplication of the implementation of elements of the architectural decision of the entire process. But it should be borne in mind that each instance B (described as a state machine) must be independent of each other (that is, it does not have to be in sequence). A disadvantage naturally is an increase in resources for execution, that is, an increase in the number of local machines, each of which executes one transaction. Therefore, this approach is appropriate for large processes with a large number of transactions.*

**Keywords:** RPA, software robots, architectural solutions, patterns of architectural solutions.

В. А. Краснобаєв, А. С. Янко, І. В. Філь

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ РЕАЛІЗАЦІЇ АРИФМЕТИЧНИХ ОПЕРАЦІЙ У КЛАСІ ЛИШКІВ

У статті розглядаються особливості реалізації арифметичних операцій непозиційної системи числення у класі лишків. Реалізація арифметичних операцій у класі лишків виконуються незалежно і паралельно над однойменними розрядами (залишками), а структура операційного пристрою комп'ютерних засобів обробки даних представляється у вигляді незалежних обчислювальних трактів, кожен з яких функціонує за своєю основою ті класу лишків. Розглядаються та аналізуються методи реалізації модульних арифметичних операцій у класі лишків. Результати аналізу основних властивостей класів лишків дозволяють зробити висновок про те, що комп'ютерних засобів обробки даних, які функціонують у класі лишків, відносяться до швидкодіючих та надійних об'єктів. Зазначені особливості структури та принципів функціонування комп'ютерних засобів обробки даних у класі лишків сприяють розробці ефективних й оптимальних методів резервування, що не мають аналогів в позиційних системах числення.

**Ключові слова:** клас лишків, комп'ютерні засоби обробки даних, комп'ютерна системи, методи реалізації арифметичних операцій, непозиційна система числення, позиційна система числення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Підвищення ефективності роботи комп'ютерної системи (КС), збільшення терміну експлуатації, розширення міжремонтних інтервалів, скорочення термінів виконання ремонтів, підвищення безвідмовності функціонування та підвищення продуктивності обробки інформації на сьогоднішній день є актуальними завданнями в значній мірі залежить від принципів побудови і функціонування комп'ютерних засобів обробки даних (КЗОД).

У КЗОД дії проводяться над числами, представленими у вигляді спеціальних машинних кодів у прийнятій системі числення. Залежно від способу зображення чисел за допомогою цифр, існуючі системи числення умовно ділять на: позиційні, непозиційні та змішані системи.

Існує два основних принципи підвищення надійності КЗОД, які функціонують у позиційних системах числення: підвищення надійності окремих логічних елементів і схем (використання нової елементної бази) і введення різних типів (видів) надлишковості (застосування різних видів резервування, які впливають на надійність функціонування КЗОД). Оскільки надійність логічних елементів в основному визначається рівнем розвитку технології, то очевидно, що введення надмірності при використанні будь-якої елементної бази є найбільш ефективним шляхом підвищення надійності КЗОД.

Різноманіття умов функціонування КЗОД і жорсткість вимог (необхідність забезпечення високого ступеня точності обчислень, високої продуктивності та надійності функціонування КЗОД в реальному часі, висока швидкість передачі та обробки інформації, оперативна відновлюваність працездатного стану КЗОД після відмов і збоїв та інше), які пред'являються до режимів функціонування та експлуатації, не завжди дозволяють ефективно застосовувати різні види резервування.

Внаслідок цього одним з ефективних практичних методів підвищення надійності КЗОД є структурне резервування, наприклад, на рівні дубльованої

або тройованої мажоритарних структур обробки інформації. Однак застосування структурного резервування ускладнює структуру КЗОД, призводить до збільшення енергоспоживання, масогабаритних показників і погіршує інші важливі технічні характеристики, що в кінцевому підсумку підвищує вартість її створення і експлуатації, а також обмежує сферу її застосування для обробки інформації в різних інформаційно-керуючих системах і для різних умов їх функціонування, що негативно впливає на технічні характеристики в цілому [1, 2].

Ця обставина обумовлює необхідність розробки і застосування принципово нових методів підвищення продуктивності і надійності КЗОД, заснованих на використанні нових принципів й ідей. Зокрема, методів обробки інформації, заснованих на нових системах числення. Проблема вибору систем числення для подання чисел у КЗОД має велике практичне значення. У разі її вибору звичайно враховуються такі вимоги, як надійність подання чисел при використанні фізичних елементів, економічність (використання таких систем числення, в яких кількість елементів для подання чисел із деякого діапазону була б мінімальною).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Результати досліджень, що проводилися протягом останніх десятиліть, методів підвищення продуктивності та достовірності обчислень КЗОД, що в межах позиційних систем числення (ПСЧ) цього домогтися практично неможливо. Це обумовлено, у першу чергу, основним недоліком сучасних КЗОД, що функціонують у ПСЧ: наявність міжрозрядних зв'язків між операндами, що обробляються. Це впливає на архітектуру КЗОД і методи реалізації арифметичних операцій, ускладнює апаратуру та обмежує швидкодію виконання арифметичних операцій. У зв'язку з цим підвищення продуктивності КЗОД у ПСЧ здійснюється, перш за все, за рахунок підвищення тактової частоти, розвитку та застосування методів і засобів паралельної обробки даних.

Спираючись на фундаментальні поняття, положення і результати теорії чисел, була створена



непозиційна система числення у класі лишків (КЛ), використання якої дозволило отримати цікаві результати в області реалізації арифметичних операцій. КЛ – система числення, в якій числа представляються у вигляді сукупності невід’ємних залишків по групі взаємно простих основ. У зв’язку з цим поданням виникла можливість виконання раціональних операцій без урахування розрядних зв’язків між цифрами числа.

Цей науковий напрям є розвитком, з одного боку, ідеї багатозалишкового кодування даних в позиційних системах числення і, з іншого, – кластерних систем обробки інформації [3-5].

Результати досліджень в області створення швидкодіючих КЗОД відомих авторів (Валаха М., Свободи А., Сабо Н., Акушського І. Я., Юдицького Д. І., Николайчука Я. М., Долгова О. І., Торгашова В. А., Амербаєва В. М., Shimbo A., Paulier P., Thornton M. A., Dreschler R., Miller D. M. та ін.) показали, що використання в якості системи числення непозиційної системи числення, а саме КЛ, може суттєво позитивно вирішити науково-прикладну задачу забезпечення надійної роботи КС без зниження продуктивності обробки інформації і з істотним зменшенням, у порівнянні з позиційною системою числення, кількості додатково необхідного обладнання.

Дана обставина дає можливість істотно підвищити надійність КЗОД, а також поліпшити деякі важливі техніко-економічні характеристики КС [6].

### Основна частина

В позиційній системі числення виконання арифметичних операцій передбачає послідовну обробку розрядів операндів по правилам даної операції і не може бути закінчено до тих пір, поки не будуть послідовно визначені результати міжрозрядних операцій з врахуванням всіх зв’язків між розрядами.

Таким чином, ПСЧ, що використовуються в сучасних машинах, в яких представляється і оброблюється інформація, мають суттєвий недолік – наявність міжрозрядних зв’язків, які накладають свій відбиток на принципи реалізації арифметичних операцій, ускладнюють апаратуру і обмежують швидкодію. Тому природно, що здійснюється пошук можливостей застосування такої арифметики, в якій би порозрядні зв’язки були відсутні. У цьому плані звертає на себе увагу система числення у КЛ.

Реалізація арифметичних операцій у КЛ виконуються незалежно і паралельно над однойменними розрядами (залишками), а структура операційного пристрою КЗОД представляється у вигляді незалежних обчислювальних трактів, кожен з яких функціонує за своєю основою  $m_i$  КЛ (рис. 1).

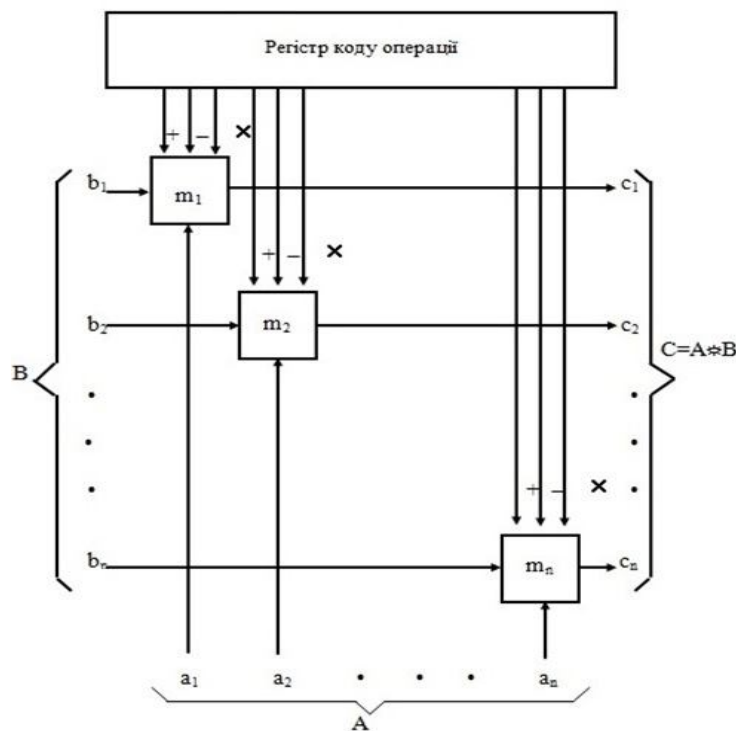


Рис. 1. Схема виконання арифметичних операцій у КЛ

Додавання, віднімання і множення в КЛ здійснюється по дуже простому алгоритму: ці операції модульні і здійснюються незалежно по кожному модулю КЛ в межах розрядної сітки  $[0, M)$ .

Позначивши узагальнену арифметичну операцію через символ  $\odot$ , не важко реалізувати алгоритм виконання арифметичних операцій у КЛ в загальному вигляді:

нехай  $A = (a_1, \dots, a_n)$ ,  $B = (b_1, \dots, b_n)$ , тоді:  
 $C = A \odot B = [(a_1 \odot b_1) \bmod m_1, (a_2 \odot b_2) \bmod m_2, \dots, (a_n \odot b_n) \bmod m_n]$ .

За рахунок властивості КЛ – незалежності залишків за прийнятою системою основ, відкриваються широкі можливості в побудові не тільки нової машинної арифметики, але й принципово нової схемної реалізації КЗОД, котра, в свою чергу помітно

розширює застосування машинної арифметики [4]. Це дає можливість широкого вибору варіантів системотехнічних рішень при реалізації модульних арифметичних операцій, заснованих за допомогою наступних методів (принципів):

- суматорний метод (на базі малорозрядних двійкових суматорів);
- табличний метод (на основі використання таблиць ПЗП);
- метод кільцевого зсуву, заснований на використанні кільцевих регістрів зсуву (КРЗ).

При суматорному методі реалізації арифметичних операцій використовується  $n$  (по числу основ КЛ) малорозрядних суматорів по відповідних модулях  $m_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ).

При побудові КЗОД, що функціонують у КЛ на базі малорозрядних суматорів (суматорний метод) кожен із розрядів числа обробляється незалежно, але час виконання всієї операції визначається часом необхідним для отримання результату по найбільшій основі КЛ.

Відмітимо основні недоліки суматорного методу:

- складність синтезу двійкових суматорів;
- значний час перетворення інформації, що визначається максимальною основою КЛ;
- неефективне використання двійкових елементів КЗОД в наслідок надлишковості представлення максимальних чисел.

Пошук шляхів одночасного підвищення продуктивності обробки інформації та надійності функціонування КЗОД привів до необхідності розробки табличного методу реалізації модульних операцій, заснованого на використанні таблиць ПЗП.

У загальному випадку табличний операційний пристрій КЗОД для реалізації арифметичних операцій (які реалізується в унітарній коді) являє собою двохвходове ПЗП. Для кожного з входів кількість вхідних шин для  $l$ -байтової ( $8l$  двійкових розрядів) КЗОД рівна  $2^{8l}$ . При цьому загальна кількість логічних схем співпаданя (збігу) "Г" у вузлах ПЗП (яке в основному і визначає загальну кількість обладнання табличного операційного пристрою КЗОД) рівна  $N_{l\text{ПЗП}} = 2^{8l} \times 2^{8l} = 2^{16l}$ . Виходячи з формули, очевидно, що таблична реалізація цілочисельних модульних арифметичних операцій у ПЗП доцільна лише для значення  $l = 1$ . Дійсно, в цьому випадку  $N_1 = 2^{16} = 65536$ , що є прийнятним за кількістю обладнання для сучасного розвитку елементної бази. Однак, як зазначалося вище, тенденція розвитку засобів обробки цифрової інформації спрямована на збільшення довжини розрядної сітки КЗОД.

Вже зараз пропонується до практичного використання КЗОД для  $l = 2$ .

У цьому випадку  $N_{4\text{ПЗП}} = 2^{32} \times 2^{32} = 2^{64}$  та  $N_{8\text{ПЗП}} = 2^{64} \times 2^{64} = 2^{128}$ . Якщо врахувати, наприклад,  $2^{32} = 4294967296$ ,  $2^{64} = 18446744073709551616$ , а  $2^{128} \approx 3,4 \times 10^{38}$ , то очевидно, що табличний метод реалізації арифметичних операцій в ПЗП практично не застосовується.

Інші, позитивні результати, можна отримати, якщо розглянути КЗОД у КЛ. Дійсно, в загальному випадку, при реалізації алгоритмів модульної обро-

бки інформації для табличного операційного пристрою КЗОД необхідна така кількість схем збігу:

$$N_{l\text{КЛ}} = \sum_{i=1}^n m_i^2,$$

Тоді для КЗОД у КЛ з  $l = 4$  і  $l = 8$  відповідно маємо  $N_{4\text{КЛ}} = 2397$  та  $N_{8\text{КЛ}} = 13275$ , що цілком прийнятно при реалізації арифметичних операцій додавання, віднімання та множення у КЛ, використовуючи сучасну елементну мікроелектронну базу (НВІС, ПЛМ або ПЛІС).

Переваги табличного методу реалізації арифметичних операцій КЗОД у КЛ:

- табличні схеми мають високу надійність, так як реалізуються у вигляді компактних ПЗП, в цьому випадку весь тракт операційного пристрою КЗОД будується за блоковим принципом, що покращує ремонтпридатність КЗОД (зменшується час відновлення);

- простота табличних схем і дешифраторів, що мають кількість виходів, відповідних основам  $m_i$  КЛ;

- висока швидкодія – результат операції може бути отриманий в момент надходження вхідних операндів, тобто в один такт; час виконання арифметичних операцій у КЛ практично співпадає з тактовою частотою обчислювача, що принципово неможливо для позиційних обчислювальних машин при існуючій елементній базі.

Вищевикладене підтверджує важливість, доцільність та ефективність проведення практичних досліджень і розробок табличного методу реалізації модульних операцій у КЛ.

Малорозрядність залишків  $a_i$  дає нам можливість реалізації арифметичних операцій у КЛ, або на базі малорозрядних двійкових суматорів (суматорний метод), або за допомогою табличного методу. При першому методі реалізації арифметичних операцій проявляється (хоча і в значно меншій ступені) той же недолік, що й у ПЗП: наявність міжрозрядних зв'язків у межах даної основи  $m_i$  КЛ. При табличному методі реалізації арифметичних операцій відсутні міжрозрядні зв'язки між оброблюваними операндами взагалі, однак, для достатньо великої розрядної сітки КЗОД (для великих за величиною модулів КЛ) різко збільшується кількість обладнання операційних пристроїв. Важливо та актуально розглянути проміжний варіант реалізації арифметичних операцій у КЛ, заснований на застосуванні методу кільцевого зсуву шляхом використання кільцевих регістрів зсуву (КРЗ). У [7] сформований принцип реалізації арифметичних операцій на основі методу кільцевого зсуву, особливості котрого в тому, що результат арифметичної операції

$$(a_i \pm \beta_i) \bmod m_i$$

за довільним модулем КЛ, заданої сукупності  $\{m_j\}$ ,  $j = \overline{1, n}$ , основ, визначається тільки за рахунок послідовно циклічних зсувів заданої цифрової структури.

Перевага методу кільцевого зсуву в порівнянні з методами, заснованими на вживанні двійкових суматорів, полягає у відсутності міжрозрядних перенесень, що істотно підвищує достовірність реалізації модульних операцій. Проте час виконання модульних операцій порівняно великий, що знижує загальну ефективність вживання КЗОД у КЛ. Дана обставина й обумовлює необхідність розробки алгоритмів підвищення швидкодії виконання даних операцій у КЗОД [8].

Максимальної швидкодії виконання арифметичних операцій при використанні методу кільцевого зсуву можна досягти, використовуючи програмний метод реалізації модульних операцій. В цьому випадку, використовуючи керуючі матриці, в більшості варіантів результат операції  $(a_i \pm \beta_i) \bmod m_i$  можна досягти за менше, ніж  $k\beta_i$ , число зсувів двійкових розрядів. Це обумовлено тим, що зсув вмісту КРЗ проводиться відповідно до даних керуючих матриць на число двійкових розрядів, кратне величині  $\beta_i$ , тобто на мінімально необхідне число двійкових розрядів. Здійсненість даної процедури обумовлена надмірністю вмісту розрядів КРЗ. Вміст керуючих матриць визначається для кожної операції (додавання, віднімання і т.п.) і для кожної основи  $m_i$  КЛ індивідуально. Вузлу керуючої матриці присвоюється значення (з урахуванням напрямку зсуву), рівне кількості необхідних зсувів вмісту двійкових розрядів КРЗ [9].

### Висновки

У даний час неможливо уявити собі автоматичну систему без того, щоб її центральну частину не складала обчислювальна машина, що виконують функції обробки інформації та управління. У КЗОД дії проводяться над числами, представленими у вигляді спеціальних машинних кодів у прийнятій системі числення. Залежно від способу зображення чисел, за допомогою цифр, існуючі СЧ умовно ділять на: позиційні та непозиційні системи.

Результати, що проводилися протягом останніх років різними групами дослідників щодо пошуку шляхів підвищення продуктивності КЗОД, методів організації ефективної системи виявлення та виправлення помилок і побудови високонадійних обчислювальних комплексів утвердилися в думці, що в межах ПСЧ не можна очікувати скільки-небудь задовільного результату без істотного збільшення робочих частот елементів й ускладнення апаратурною частини КЗОД.

Слід зазначити, що ПСЧ, в яких представляється й обробляється інформація в сучасних КЗОД, мають істотний недолік – наявність міжрозрядних зв'язків, які накладають свій відбиток на способи реалізації арифметичних операцій, ускладнюють апаратуру і обмежують швидкодію КЗОД.

Все це стало поштовхом до пошуку нових систем числення і нових методів організації КЗОД. Дослідження проведені в НСЧ, названій КЛ призвели до створення досить своєрідної машинної арифметики. У КЛ числа представляються своїми залишками від ділення на обрану систему основ, і всі раціональні операції можуть виконуватися паралельно над цифрами кожного розряду окремо. Основні властивості КЛ (незалежність залишків, рівноправність залишків, малорозрядність залишків) дозволяють усунути недоліки ПСЧ. Спільне використання першої і другої властивостей (незалежності й рівноправності залишків) обумовлює наявність у КЗОД одночасно трьох основних видів резервування: структурного, інформаційного та функціонального. А така властивість КЛ, як малорозрядність залишків дає можливість широкого вибору реалізації арифметичних операцій, заснованих на наступних методах:

- суматорному методі (на базі малорозрядних двійкових суматорів);
- табличному методі (на основі використання таблиць ПЗП);
- методі кільцевого зсуву, що заснований на використанні кільцевих регістрів зсуву.

Проаналізовано особливості методів технічної реалізації арифметичних операцій у КЛ. Аналіз відомих методів показав, що найбільш оптимальним з точки зору максимальної швидкодії виконання арифметичних операцій і забезпечення заданого рівня надійності функціонування КЗОД є табличний метод реалізації модульних операцій. Показано, що задачі, пов'язані з необхідністю використання табличної арифметики доцільно і ефективно вирішувати тільки у КЛ.

Результати аналізу основних властивостей КЛ дозволяють зробити висновок про те, що КЗОД, що функціонують у КЛ, відносяться до швидкодіючих та надійних об'єктів. Зазначені особливості структури та принципів функціонування КЗОД у КЛ сприяють розробці ефективних й оптимальних методів резервування, що не мають аналогів в ПСЧ.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дадаев Ю. Г. Теория арифметических кодов / Ю. Г. Дадаев. – М. : Радио и связь, 1981. – 272 с.
2. Акушский И. Я. Основы машинной арифметики комплексных чисел / И. Я. Акушский, В. М. Амербаев, И. Т. Пак. – Алма-Ата : Наука, 1970. – 248 с.
3. Амербаев, В. М. Теоретические основы машинной арифметики / В.М. Амербаев. – Алма-Ата, Наука, 1976. – 324 с.
4. Акушский И. Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И. Я. Акушский, Д. И. Юдицкий. – М. : Советское радио, 1968. – 440 с.
5. Koshman S. A. Method of bit-by-bit tabular realization of arithmetic operations in the system of residual classes / S. A. Koshman, V. I. Barsov, V. A. Krasnobayev, K. V. Yaskova, N. S. Derenko // *Радиоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – № 5 (39). – С. 44–48.
6. Gbolagade K. A. An O(n) Residue Number System to Mixed Radix Conversion technique / K. A. Gbolagade, S. D. Cotofana // *IEEE International Symposium on Circuits and Systems (24–27 May, 2009)*. – New York : IEEE, 2009. – P. 521-524.
7. Krasnobayev V. A Method for arithmetic comparison of data represented in a residue number system / V. Krasnobayev, A. Yanko and S. Koshman // *Cybernetics and Systems Analysis*. – vol. 52, Issue 1. – 2016. – pp. 145-150.
8. Krasnobayev V. A method for operational diagnosis of data represented in a residue number system / V. Krasnobayev and

- S. Koshman // Cybernetics and Systems Analysis. – vol. 54, Issue 2. – 2018. – pp. 336-344.
9. Krasnobayev V. Algorithms of data processing in the residual classes system / V. Krasnobayev, A. Yanko and S. Koshman // 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T) . – Kharkiv. – 2017. – pp. 117-121.

## REFERENCES

1. Dadaev Yu. G. Theory of arithmetic codes / Yu. G. Dadaev. – M.: Radio and communication, 1981. – 272 pages.
2. Akushsky I. Ya. Fundamentals of machine arithmetic of complex numbers / I. Ya. Akushsky, V. M. Amerbaev, I. T. Pak. – Alma-Ata: Science, 1970. – 248 pages.
3. Amerbaev V.M. Theoretical Foundations of Machine Arithmetic / V.M. Amerbaev. – Alma-Ata, Science, 1976. – 324 pages.
4. Akushskii I. Ya. Machine arithmetic in residual classes / I. Ya. Akushskii, D. I. Yuditskii. - M.: Soviet Radio, 1968. – 440 pages.
5. Koshman S. A. Method of bit-by-bit tabular realization of arithmetic operations in the system of residual classes / S. A. Koshman, V. I. Barsov, V. A. Krasnobayev, K. V. Yaskova, N. S. Derenko // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 5 (39). – С. 44–48.
6. Gbolagade K. A. An O(n) Residue Number System to Mixed Radix Conversion technique / K. A. Gbolagade, S. D. Cotofana // IEEE International Symposium on Circuits and Systems (24–27 May, 2009). – New York : IEEE, 2009. – P. 521-524.
7. Krasnobayev V. A Method for arithmetic comparison of data represented in a residue number system / V. Krasnobayev, A. Yanko and S. Koshman // Cybernetics and Systems Analysis. – vol. 52, Issue 1. – 2016. – pp. 145-150.
8. Krasnobayev V. A method for operational diagnosis of data represented in a residue number system / V. Krasnobayev and S. Koshman // Cybernetics and Systems Analysis. – vol. 54, Issue 2. – 2018. – pp. 336-344.
9. Krasnobayev V. Algorithms of data processing in the residual classes system / V. Krasnobayev, A. Yanko and S. Koshman // 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T) . – Kharkiv. – 2017. – pp. 117-121.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. Г. Рассомахін,  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків  
Received (Надійшла)  
Accepted for publication (Прийнята до друку)

**Анализ методов реализации арифметических операций в классе вычетов**

В. А. Краснобаев, А. С. Янко, I. В. Філь

В статье рассматриваются особенности реализации арифметических операций непозиционной системы счисления в классе вычетов. Реализация арифметических операций в классе вычетов выполняются независимо и параллельно над одноименными разрядами (остатками), а структура операционного устройства компьютерных средств обработки данных представляется в виде независимых вычислительных трактов, каждый из которых работает по своему основанию  $m_i$  класса вычетов. Рассматриваются и анализируются методы реализации модульных арифметических операций в классе вычетов. Результаты анализа основополагающих свойств классов вычетов позволяют сделать вывод про то, что компьютерные способы обработки данных, которые функционируют в классе вычетов, относятся к быстродействующим и надежным объектам. Определенные особенности структуры и принципа действия компьютерных средств обработки данных в классе вычетов способствуют разработке более эффективных и оптимальных методов резервирования, которые не имеют аналогов в позиционных системах счисления.

**Ключевые слова:** класс вычетов, компьютерные средства обработки данных, компьютерная системы, методы реализации арифметических операций, непозиционной система счисления, позиционная система счисления.

**Analysis of methods for the implementation of arithmetic operations in the residual classes**

V. Krasnobayev, A. Yanko, I. Fil

The article discusses the features of the implementation of the arithmetic operations of nonpositional number systems in the residual classes. It is possible to increase the productivity of the computer system and the reliability of processing integer data based on the use of new machine arithmetic. In the positional numeral system, the execution of an arithmetic operation involves the sequential processing of the digits of operands according to the rules determined by the content of the operation, and cannot be completed until the values of all intermediate results are sequentially determined taking into account all the connections between the digits. Thus, positional numeral system, in which information is presented and processed in modern computers, have a significant drawback - the presence of inter-bit relations, which impose its imprint on the methods of implementing arithmetic operations, complicate the equipment and limit the speed. Therefore, it is natural to look for possibilities of using such arithmetic, in which there would be no queuing connections. In this regard, the system of calculus in the residual classes draws attention to itself. The implementation of arithmetic operations in the residual classes is performed independently and in parallel over the like digits (residues), and the structure of the operating unit of computer data processing facilities is represented as independent computational paths, each of which operates on its base  $m_i$  of the residual classes. Adding, subtracting, and multiplying the residual classes is carried out using a very simple algorithm: these operations are modular and are implemented independently for each module of the residual classes within the boundary grid  $[0, M]$ . Methods of implementing modular arithmetic operations in the residual classes are considered and analyzed. There are three basic principles for the implementation of modular arithmetic operations in the residual classes, based on the following methods: an aggregation method (based on a low-level binary adder); tabular method; the method of a ring-shift, based on the use of ring shift registers.

**Keywords:** residual classes, computer data processing facilities, computer systems, methods for implementing arithmetic operations, non-positional number system, positional number system.

Т. С. Нікітіна, О. І. Морозова

Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ БАЗ ДАНИХ SQL ТА NOSQL

В роботі було проведено короткий аналіз функцій баз даних SQL та NoSQL, були приведені їх основні відмінності. На сьогоднішній день існують два найбільш поширених типу систем управління даними: реляційні бази даних та NoSQL. Існує величезне різноманіття моделей даних та API (Application Programming Interface) запитів для NoSQL. Зокрема для порівняння були обрані Apache Cassandra, DynamoDB, MongoDB, MongoDB. Модель даних та функціональність Apache Cassandra має схожість з іншими масштабованими сховищами. Оновлення та угруповання стовпців кешується в оперативній пам'яті, після чого скидаються на диск. Основною метою роботи було порівняння продуктивності реляційних SQL баз даних та NoSQL, на прикладі PostgreSQL, MySQL, Apache Cassandra, MongoDB, Amazon DynamoDB. Для тестування продуктивності було розроблено окремий програмний продукт. Основним предметом дослідження є продуктивність базових операцій цих систем. Результати про продуктивність кожної з них були отримані за допомогою розробленої системи тестування, адаптованої для потреб дослідження. Розроблена система тестування дозволила тестувати швидкість виконання складних аналітичних операцій, робити додаткові налаштування, використовувати великий обсяг даних. Система була розширена для виконання тестування розширеного набору операцій над схемою даних, що містить зв'язки між таблицями. Ця система тестування містить набір готових навантажень, які покривають основні аспекти функціонування й підтримують створені користувачем навантаження. За допомогою системи тестування були отримані дані про продуктивність представлених систем управління базами даних для набору різних запитів. Для аналізу продуктивності вимірювався час відгуку систем на запит – час між початком запиту й одержанням відповіді. Порівнювалися два види показників – середній відгук по виконанні операції й деталізований аналіз. Отримані дані були представлені у вигляді діаграм, і по ним був зроблений висновок про продуктивність баз даних SQL та NoSQL. Вибір баз даних повинен максимально ґрунтуватися на типі вирішуваних завдань й також повинен враховувати обсяги даних, час відгуку системи.

**Ключові слова:** NoSQL база даних, реляційна база даних, тестування, продуктивність.

### Вступ

У різних областях діяльності накопичується величезна кількість даних, що веде до посилення вимог до їх обробки та зберігання, зокрема до продуктивності систем управління базами даних (БД). Дана проблема особливо актуальна для даних, що вимагають глибокого аналізу. У зв'язку з цією ситуацією з'являються нові підходи до побудови таких систем, які повинні подолати недоліки існуючих. На сьогоднішній день існують два найбільш поширених типу систем управління даними: реляційні БД (РБД) [1, 2] та NoSQL БД, різні в багатьох аспектах роботи.

Такі кардинальні відмінності в питаннях, як надійність, гнучкість, узгодженість даних і масштабованість, вимагають ретельного аналізу різних моментів функціонування систем, особливо продуктивності. Однак існуючі дослідження на цю тему не в повній мірі охоплюють питання продуктивності двох підходів, обмежуючись порівнянням операцій, наданих NoSQL системами. У той же час великий спектр операцій, який реалізує реляційна система управління базами даних (СУБД), вимагає обчислень на стороні користувача, при роботі з NoSQL системою, що може привести до значних відмінностей в продуктивності. Мета даної роботи – провести дослідження продуктивності операцій СУБД цих двох типів систем.

В рамках роботи було проведено порівняльний аналіз реляційної та NoSQL БД на прикладі MySQL, PostgreSQL, Apache Cassandra, MongoDB, Amazon DynamoDB. Основним предметом дослідження є продуктивність базових операцій цих систем. Результати про продуктивність кожної з них були

отримані за допомогою розробленої системи тестування, адаптованої для потреб дослідження.

Підсумком роботи стали дані про продуктивність СУБД MySQL, PostgreSQL, Cassandra, DynamoDB, MongoDB отримані з використанням системи тестування. Система була розширена для виконання тестування розширеного набору операцій над схемою даних, що містить зв'язки між таблицями. На підставі отриманих даних про продуктивність операцій були зроблені висновки про ефективність досліджуваних СУБД.

### Реляційні бази даних

РБД засновані на реляційній моделі та теорії множин. Таблиця складається з безлічі кортежів (записів), атрибути яких відповідають стовпцям. Така модель даних дуже точна та добре структурована. РБД гарантує високу надійність транзакцій завдяки повній підтримці чотирьох властивостей ACID (Atomicity, Consistency, Isolation, Durability):

- атомарність (Atomicity): якщо будь-яка частина транзакції не виконується, то не виконується транзакція цілком;

- узгодженість (Consistency): якщо БД знаходилася в узгодженому стані до виконання транзакції, то після виконання вона також буде знаходитися в узгодженому стані;

- ізолюваність (Isolation): безліч транзакцій, що виконуються одночасно, не впливають на хід роботи один одного. Іншими словами, паралельні транзакції повинні бути серіалізовані;

- довговічність (Durability): зміни, вчинені транзакцією, будуть залишатися в системі не дивлячись на будь-які збої.

В роботі пропонується аналіз продуктивності РБД PostgreSQL [3] та MySQL. PostgreSQL є об'єктно-реляційною системою управління БД. Система розробляється більше 15 років та має перевірену архітектуру, яка заробила високу репутацію надійності, цілісності даних й точності.

Також PostgreSQL цілком підтримує ACID та стандарт ANSI-SQL. PostgreSQL містить в собі не тривіальні можливості, такі як управління конкурентним доступом за допомогою багатoversійності (MVCC), повернення до станом в певний момент часу (Point-in-time recovery), простір таблиць, асинхронні реплікації, внутрішні транзакції (точки збереження), резервне копіювання під час виконання, планувальник й оптимізатор запитів та ін. Всі ці функції РБД PostgreSQL дозволяють бути хорошою альтернативою NoSQL-системам в плані масштабованості, зберігаючи можливість складних глибоких аналітичних запитів за допомогою SQL.

MySQL – вільна реляційна система управління БД. Розробка та підтримка MySQL здійснює корпорація Oracle. Продукт поширюється як під GNU (General Public License), так і під власною комерційною ліцензією. MySQL є рішенням для малих і середніх додатків. Зазвичай MySQL використовується як сервер, до якого звертаються локальні або видалені клієнти, проте в дистрибутив входить бібліотека внутрішнього сервера, що дозволяє включати MySQL в автономні програми. Гнучкість СУБД MySQL забезпечується підтримкою великої кількості типів таблиць: користувачі можуть вибрати як таблиці, що підтримують повнотекстовий пошук, так і таблиці InnoDB, що підтримують транзакції на рівні окремих записів. Завдяки відкритій архітектурі і GPL-ліцензуванню, в СУБД MySQL постійно з'являються нові типи таблиць.

Всі ці функції РБД PostgreSQL та MySQL дозволяють бути хорошою альтернативою NoSQL-системам в плані масштабованості, зберігаючи можливість складних глибоких аналітичних запитів за допомогою SQL.

### NoSQL бази даних

В останні роки було розроблено велику кількість нових БД (рис. 1), які надають гарне горизонтальне масштабування для простих операцій читання, запису для БД, розподілених на безлічі серверів, орієнтованих на Big Data [4]. На відміну від них, традиційні БД дають менше можливостей до масштабування.



Рис. 1. Приклади NoSQL-систем

Безліч нових БД визначаються терміном «NoSQL». Термін «NoSQL», що розшифровується як «Not Only SQL» або «Not Relational». Зазвичай такі системи задовольняють такими ознаками: наявність засобів розподілу навантаження на безліч серверів; можливість розподілу даних на безліч серверів; простий протокол виклику операцій; більш слабка модель паралелізму, ніж ACID-транзакції; ефективне використання розподілених індексів й оперативної пам'яті для зберігання даних; відсутність фіксованої схеми даних.

NoSQL-системи зазвичай не задовольняють властивостям ACID-транзакцій: допускається узгодженість в кінцевому рахунку. Пропонується модель «BASE» (Basically Available, Soft state, Eventually consistent, узгодженість в кінцевому рахунку) в протилежність ACID.

Ідея полягає в тому, що, відмовившись від обмежень ACID, можна домогтися набагато кращої продуктивності й масштабованості. Більшість систем різняться в ступенях відмови від ACID. Прихильники NoSQL часто посилаються на CAP-теорему, яка стверджує, що система може задовольняти лише двом з трьох таких властивостей:

- узгодженість - дані завжди однакові для всіх реплік;
- доступність - дані завжди доступні користувачеві;
- стійкість до поділу - система БД продовжує коректну роботу не дивлячись на відмову мережі або вузлів.

У NoSQL системах зазвичай опускається узгодженість, але припущення можуть бути складніше. Найчастіше моделі даних в NoSQL-системах розбиваються на наступні категорії [4–7]:

- сховища типу «ключ-значення» (Key-value stores): зберігають значення й ідентифікатор для пошуку, заснований на заданому ключі;
- документно-орієнтовані сховища (Document stores): система зберігає дані в формі документів, які індексуються;
- сховища, що розширюються записом (Extensible records stores): записи в таких сховищах можуть бути розподілені вертикально та горизонтально по вузлах.

Існує величезне різноманіття моделей даних та API (Application Programming Interface) запитів для NoSQL БД. Зокрема для порівняння були обрані Apache Cassandra [6], DynamoDB [5], MongoDB [7]. Модель даних та функціональність Apache Cassandra [4] має схожість з іншими масштабованими сховищами. Оновлення та угруповання стовпців кешується в оперативній пам'яті, після чого скидаються на диск.

Присутня підтримка розподілу даних та механізми реплікації, автоматичне виявлення відмов вузлів та відновлення. Однак й модель паралелізму в Cassandra слабкіша, ніж в інших системах, в слідстві відсутності механізмів блокування асинхронного оновлення реплік. Для обробки даних Cassandra підтримує CQL – Cassandra Query Language, заснований на SQL.

Amazon DynamoDB [5] є продуктом компанії Amazon, основа якого є хмарне сховище даних типу «ключ-значення», де клієнт оплачує трафік, а не обсяг даних. Додатково компанія надає можливість розгорнути БД локально. Схемою зберігання даних в цій системі є запис, що містить ключ та деякий набір іменованих атрибутів будь-якої розмірності.

Серед особливостей DynamoDB можна виділити автоматичне кешування таблиць в оперативній пам'яті (Amazon DynamoDB Accelerator, DAX), масштабування в хмарі по заданій пропускній спроможності та можливість створення додатків-тригерів, що реагують на зміни даних. В даній роботі в якості системи тестування продуктивності обраних БД було створено окремий програмний продукт.

### Аналіз продуктивності баз даних різних типів

Розроблено програму для тестування продуктивності БД, що дозволяє отримати дані щодо сильних та слабких сторін СУБД. Система тестування містить набір готових навантажень, які покривають основні аспекти функціонування (читання, запис, видалення, оновлення) й підтримують створені користувачем навантаження. Тестування проводилося на наступній конфігурації: одна машина (16-ти ядерний, Intel Core i9 процесор, 8GB RAM, диск розміру 450 GB) для запуску однієї з систем. Над БД виконувалися наступні операції: створення таблиці, запису даних, оновлення даних, читання даних, видалення даних, видалення таблиці. Операції виконувалися над БД наступних розмірів – середнім (500 Мб), великим (15 Гб).

Для аналізу продуктивності вимірювався час відгуку систем на запит – час між початком запиту й одержанням відповіді. Порівнювалися два види показників – середній відгук по виконанні операції й деталізований аналіз.

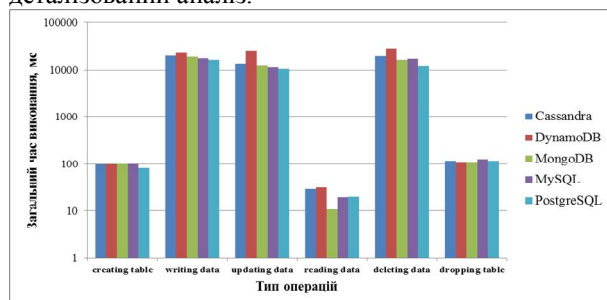


Рис. 2. Аналіз часу виконання операцій БД для середнього обсягу даних (500 Мб)

### Висновки

З результатів тестування продуктивності систем можна зробити висновок, що PostgreSQL, MySQL виконує прості операції читання, вставки й поновлення запису не гірше, а в деяких випадках краще, досліджуваних NoSQL систем. Операція читання з'єднаних таблиць виконується в реляційній БД повільніше за рахунок об'єднання таблиць всередині. Таке рішення, в свою чергу, несе збільшення обсягу збережених да-

них за рахунок надмірності. Операція підрахунку з угрупованням записів виконується PostgreSQL, MySQL швидше, так як при роботі з NoSQL основні обчислення залишалися на стороні користувача. Пропускна здатність PostgreSQL та MySQL зберігається при малому та середньому обсягах даних, знижується при великому обсязі. Операції читання записів в БД PostgreSQL та MySQL виконуються швидше ніж NoSQL системах для середнього обсягу даних, але Cassandra, MongoDB працюють значно швидше при

На рис. 2 представлено діаграму, яка відображає час відгуку системи в залежності від SQL операцій та типу БД для середнього обсягу даних (500 Мб). Для середнього обсягу даних РБД та NoSQL дають схожі часові відгуки.

*Операції запису.* Операції запису, оновлення, видалення даних потребують найбільшого часу на виконання для всіх типів БД. Найбільший час виконання операції запису, оновлення записів у DynamoDB при всіх обсягах даних. При середньому обсязі даних PostgreSQL та MySQL показує найкращий час виконання, ніж Cassandra, MongoDB. На великому обсязі даних швидше працює MongoDB (рис. 3).

*Операції читання записів.* Операції читання записів в БД PostgreSQL та MySQL виконуються швидше ніж NoSQL системах для середнього обсягу даних. DynamoDB значно програє в продуктивності ніж Cassandra, MongoDB та показує рівний результат при великому обсязі даних. Cassandra, MongoDB працюють значно швидше при великому обсязі даних для простих операцій читання.

*Операція поновлення записів.* Згідно результатів тестування продуктивність БД DynamoDB нижче інших систем. Найкращий показник продуктивності має БД MongoDB та Cassandra для великого обсягу даних. Операції Update в БД PostgreSQL та MySQL виконуються швидше ніж в NoSQL системах для середнього обсягу даних.

*Операції підрахунку з угрупованням.* У зв'язку з тим, що дана операція виконується в PostgreSQL, MySQL на стороні сервера, а для NoSQL вона реалізована на стороні користувача. PostgreSQL демонструє кращу продуктивність, ніж NoSQL системи. В свою чергу, продуктивність Cassandra, MongoDB вище, ніж продуктивність DynamoDB.

Пропускна здатність PostgreSQL та MySQL зберігається при малому та середньому обсягах даних, знижується при великому обсязі.

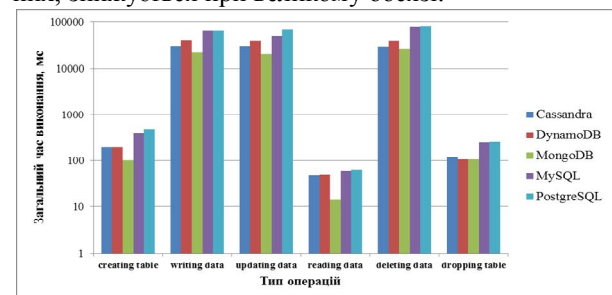


Рис. 3. Аналіз часу виконання операцій БД для великого обсягу даних (15 Гб)

них за рахунок надмірності. Операція підрахунку з угрупованням записів виконується PostgreSQL, MySQL швидше, так як при роботі з NoSQL основні обчислення залишалися на стороні користувача. Пропускна здатність PostgreSQL та MySQL зберігається при малому та середньому обсягах даних, знижується при великому обсязі. Операції читання записів в БД PostgreSQL та MySQL виконуються швидше ніж NoSQL системах для середнього обсягу даних, але Cassandra, MongoDB працюють значно швидше при

великому обсязі даних для простих операцій читання. Для операцій видалення при середньому обсязі даних PostgreSQL та MySQL показує найкращий час виконання. На великому обсязі даних швидше працює NoSQL системи працюють краще.

Таким чином, можна зробити висновок, що системи орієнтовані на Big Data можуть значно ефек-

тивніше працювати з NoSQL системами. Однак, типові рішення й системи для невеликих обсягів даних можуть мати ефективну продуктивність при роботі з БД MySQL, PostgreSQL. Таким чином, вибір БД повинен максимально ґрунтуватися на типі вирішуваних завдань й також повинен враховувати обсяги даних, час відгуку системи.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных = Introduction to Database Systems. - М.: Вильямс, 2005. - 1328 с.
2. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
3. PostgreSQL. [Електронний ресурс] - Режим доступу: - <http://www.postgresql.org/>.
4. Apache HBase. [Електронний ресурс] - Режим доступу: - <https://hbase.apache.org/>.
5. Amazon DynamoDB. [Електронний ресурс] - Режим доступу: - <https://aws.amazon.com/documentation/dynamodb/>.
6. Apache Cassandra. [Електронний ресурс] - Режим доступу: - <http://cassandra.apache.org/>. – 25.01.2019.
7. MongoDB Atlas. [Електронний ресурс] - Режим доступу: - <https://www.mongodb.com/>. – 25.01.2019.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. К. С. Козелкова,  
Державний університет телекомунікацій, Київ

Received (Надійшла) 11.12.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.01.2019

### Сравнительный анализ производительности баз данных sql и nosql

Т. С. Никитина, О. И. Морозова

В работе было проведено краткий анализ функций баз данных SQL и NoSQL, были приведены их основные отличия. На сегодняшний день существуют два наиболее распространенных типа систем управления данными: реляционные базы данных и NoSQL. Существует огромное многообразие моделей данных и API (Application Programming Interface) запросов для NoSQL. В частности, для сравнения были выбраны Apache Cassandra, DynamoDB, MongoDB. Модель данных и функциональность Apache Cassandra имеет сходство с другими масштабируемыми хранилищами. Обновления и группировки столбцов кэшируются в оперативной памяти, после чего сбрасываются на диск. Основной целью работы было сравнение производительности реляционных SQL баз данных и NoSQL, на примере PostgreSQL, MySQL, Apache Cassandra, MongoDB, Amazon DynamoDB. Для тестирования производительности был разработан отдельный программный продукт. Основным предметом исследования является производительность базовых операций этих систем. Результаты о производительности каждой из них были получены с помощью системы тестирования, адаптированной для нужд исследования. Разработанная система тестирования позволила тестировать скорость выполнения сложных аналитических операций, делать дополнительные настройки, использовать большой объем данных. Система была расширена для выполнения тестирования расширенного набора операций над схемой данных, содержащий связи между таблицами. Эта система тестирования содержит набор готовых нагрузок, которые покрывают основные аспекты функционирования и поддерживают созданные пользователем нагрузки. С помощью системы тестирования были получены данные о производительности представленных систем управления базами данных для набора различных запросов. Для анализа производительности измерялся время отклика систем на запрос - время между началом запроса и получением ответа. Полученные данные были представлены в виде диаграмм, и по ним был сделан вывод о производительности баз данных SQL и NoSQL. Выбор баз данных должен максимально основываться на типе решаемых задач и также должен учитывать объемы данных, время отклика системы.

**Ключевые слова:** NoSQL база данных, реляционная база данных, тестирование, производительность.

### Comparative analysis of the Sql and nosql database productivity

T. S. Nikitina, O. I. Morozova

A brief analysis of SQL and NoSQL database functions was performed in this work, their main differences were cited. To date, there are two most common types of data management systems: relational databases and NoSQL. There is a huge variety of data models and API (Application Programming Interface) requests for NoSQL. In particular, for comparison, Apache Cassandra, DynamoDB, MongoDB were selected. The data model and functionality of Apache Cassandra are similar to other scalable repositories. Updates and grouping of columns are cached in RAM and then reset to disk. The main purpose of the work was to compare the performance of relational SQL databases and NoSQL databases, for example, PostgreSQL, MySQL, Apache Cassandra, MongoDB, Amazon DynamoDB. A separate software product was developed for testing the performance. The main subject of the study is the performance of these systems basic operations. Performance results for each of them were obtained using testing system adapted for research purposes. The developed system of testing allowed testing the speed of complex analytical operations, making additional settings, using the large amount of data. The system has been expanded for testing the extended set of operations over a data plan that contains links between tables. This testing system contains a set of ready-made loads that cover the main aspects of the operation and support user-generated load. The testing system received data on the performance of the presented database management systems for a set of different queries. For performance analysis, the system response time (the time between the beginning of the request and the response) was measured on request. Two types of indicators were compared - the average response to completed operations and detailed analysis. The obtained data was presented in the form of diagrams, and by them was made a conclusion on the performance of SQL and NoSQL databases. The choice of databases should be based as much on the type of tasks to be solved and should also take into account the amount of data and the system response time.

**Keywords:** NoSQL database, relational database, testing, performance.



K. Nesterenko, S. Rahulin, I. Syroizhka, O. Dmitriev, N. Zhivitsky, A. Sharabaiko

Flight Academy of the National Aviation University, Kropivnitsky, Ukraine

## THE APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES DURING MAINTENANCE TO ENSURE THE RELIABILITY OF THE OPERATION OF AVIATION EQUIPMENT

During the operation of aviation equipment, is carried out a set of works concerning the support and renewal of its serviceability and efficient condition, if necessary and possible. These tasks are solved with the help of information systems during aviation equipment maintenance. If necessary and possible, during the aviation equipment operation, is carried out a work package concerning the support and renewal, of its operative and serviceable condition. These tasks are solved with the help of IT solutions during the aviation equipment maintenance. Aircraft maintenance is an important component of the aviation system which ensures the functioning of aviation throughout the world. Insofar as the air traffic performance grows, and the tough requirements for maintaining the schedule of commercial flights necessitate the need to increase the intensity of aircraft usage. Also is continued the toughening of requirements for the timeliness of maintenance.

**Keywords:** information systems aviation equipment maintenance.

### Introduction

**The quality of maintenance as a reliability factor of aviation equipment operation.** Maintenance is a work package (set of operations) which is carried out on aviation equipment during preflight and post flight preparation, storage and transportation in order to maintain its serviceability and operability. Maintenance products are not any new products but performed tasks as foreseen in the production assignment.

Maintenance quality reflects the labor quality of engineering and technical personnel of aircraft maintenance facility [1]. The first-priority target of the quality system is to provide a maintenance organization with guaranteed opportunity to produce foolproof products.

In order to estimate the completeness of the scope and work performance technology compliance provided by the performers and which are foreseen by the maintenance tasks, and also to compare the results of the various operators and staff members work with the established standards necessary for justification of procedures which are targeted at quality improvement and efficiency assessment are introduced *maintenance quality indicators*.

The quality of maintenance is provided by technological equipment, and the organization of the process using IT systems, which must comply with the Rules approved by the competent maintenance organizations [2].

Thereafter, verification of tools and equipment requires from the organization an approved procedure for regular inspections and maintenance. It also requires an accurate marking system of all tools and equipment that were added to a database in the form of information stating when should be carried out the next inspection, maintenance or calibration, and whether the tool and equipment are unserviceable for any reason, if this is not obvious.

Periodic inspections, maintenance or calibration must comply with the manufacturer's instructions. With this background, it is officially stated that the standard defines the following rules for establishment of a state institutions and have a legal force and are applied in the air transport field [3]. The quality of the operator's work is

assessed by the degree of compliance with the task assigned to each completed work and the requirements of the operational documentation. Incomplete performance of the task (scope of work), troubleshooting failure in case of defect, performance of work with a violation of technology is considered to be a faulty production.

The insufficiency of maintenance is also evidenced by failures and malfunctions detected in flight, which are recorded by the on-board monitoring systems, and if they were the result of maintenance violations.

The main groups of factors that have an exert decisive influence on the quality of maintenance personnel work are shown in Fig. 1 [4].

At the present time, a number of methods and models have been developed. These methods and models describe the maintenance processes, in particular, on the basis of semi-Markov processes with a finite set of states [5], the generalized structured method [6], the use of game theory [7], the construction and analysis of cause-effect trees [8], situations assessment tree graphs [9].

However, all existing methods and indicators for assessing the maintenance quality, taking into account the activities of the maintenance personnel, are directly connected with the assessment of the aircraft reliability in flight, depending on the quality of maintenance operations or with the assessment of the aircraft maintenance quality, taking into account possible operator errors.

In a reference book [10], the investigation of the aircraft reliability is confined to the consideration of the aircraft reliability, taking into account the activities of the maintenance personnel.

If we assume that the probability of simultaneous occurrence of two or more errors is negligible and that each error can be almost instantly compensated with probability  $P_{ec}$ , then the probability of aircraft failure-free operation during the time  $[t_l, t_l + \Delta t]$  will be determined by expression:

$$P_f(t_l, \Delta t) = P_{tc}(t_l, \Delta t) \left\{ P_{mp}(\Delta t) + [1 - P_{mp}(\Delta t)] P_{ec} \right\}, \quad (1)$$

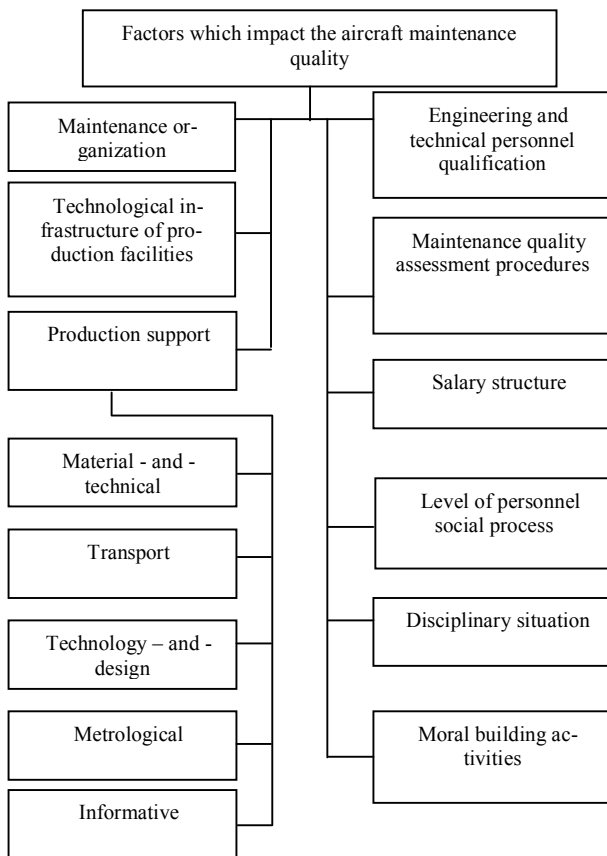


Fig. 1. Factors which define the aircraft maintenance quality

where  $P_{tc}(t_i, \Delta t)$  – the probability of aircraft failure-free operation during the time  $[t_i, t_i + \Delta t]$ ;  $P_{mp}(\Delta t)$  – probability of trouble-free operation of maintenance personnel over a period of time  $\Delta t$  upon condition that the aircraft is operating without no failures.

Compensation for technological errors is an important way to improve the reliability of aircraft. Therein, the probability of aircraft failure-free operation during the time  $[t_i, t_i + \Delta t]$

$$P_{tc}(t_i, \Delta t) = P_{mp}(t_i, \Delta t) \times \{P_{tc}(\Delta t) + [1 - P_{tc}(\Delta t)] P_{t.c.}(t_i, \delta, t_i + \Delta t)\}, \quad (2)$$

where  $P_{t.c.}(t_i, \delta, t_i + \Delta t)$  – conditional probability of failure-free operation during time  $[t_i, t_i + \Delta t]$  of aircraft with compensation for the consequences of technical condition failures upon condition that at a moment  $\delta$  there was a failure and it was compensated ( $t_i < \delta < t_i + \Delta t$ ). The evaluation of the aircraft maintenance quality, taking into account the significance of the possible consequences of operator errors, was considered in collection of research papers [11]. In the conditions of the airlines, the quality management system of maintenance for assessing the quality of the operators' work, is used a generalized quality factor  $K_g^o$  [12]. It is defined by summing-up base coefficient, and coefficients of its increase  $K_i$  and decrease  $K_d$  [12]:

$$K_g^o = A + \sum_{i=1}^{n_i} n_i \cdot K_i - \sum_{j=1}^{n_j} n_j \cdot K_d, \quad (3)$$

where  $A$  – base coefficient ( $A=100$ );  $n_i, n_j$  – incidents count according to top performance and violations.

With reference to the foregoing, it can be concluded that all known and partially considered, in the performance, maintenance quality indicators cannot act as a reliable estimate of carried out maintenance and, therefore, to ensure reliability in operation. Special attention is paid to this factor when analyzing the maintenance of the trainer aircraft fleet, where, as such, efficiency is transformed into other equipment usage assessments with unchanged requirements for reliability.

### Factors affecting the efficiency of aircraft usage in civil aviation

It is known that one of the ways to increase the efficiency of aircraft usage is to reduce all types of downtime. A key factor is the introduction of IT technologies at all stages of the aircraft life cycle.

Since the number of serviceable, ready-to-fly aircraft is characterized by the serviceability indicator  $K_{ser}$ , which is the ratio of the time during which the aircraft is in serviceable condition to the annual worktime fund (as %):

$$K_{ser} = \frac{8760 - T_m}{8760} \cdot 100. \quad (4)$$

The values of the aircraft serviceability coefficients vary depending on the aircraft type. The more aircraft maintenance and repair downtime ( $T_m$ ), the smaller the  $K_{ser}$ , and consequently the less the annual flying rate.

The aircraft maintenance and repair downtime is determined by such factors as the aircraft equipment reliability, operational and repair technology, the level of mechanization and production processes automation, applied information complexes for maintenance and repair, the development of production technology, the ergonomics of aircraft and their airborne equipment as maintenance and repair objects, etc.

Improvement of these factors contributes to the further development of production.

An analysis of the available data shows that with the increasing complexity of the aircraft design and airborne equipment, there also increase losses, due to their down time. The increase of aircraft downtime costs forces to carry out a research related to the increase of their usage efficiency [13, 14].

In Fig. 2 Factors affecting the efficiency of aircraft usage are shown. To increase the aircraft annual flying rate and, consequently, the efficiency of their usage, it is necessary:

- improve reliability, ergonomics, aircraft maintenance and repair efficiency and their onboard equipment, manage their life time, reduce the amount of maintenance and repair works, from a perspective of aviation ergonomics;
- implement more advanced methods and strategies for maintenance and repair;
- to mechanize and automate production processes, to make wider use of mobile integrated information and maintenance systems that would correspond to the principles of human-centered automation;

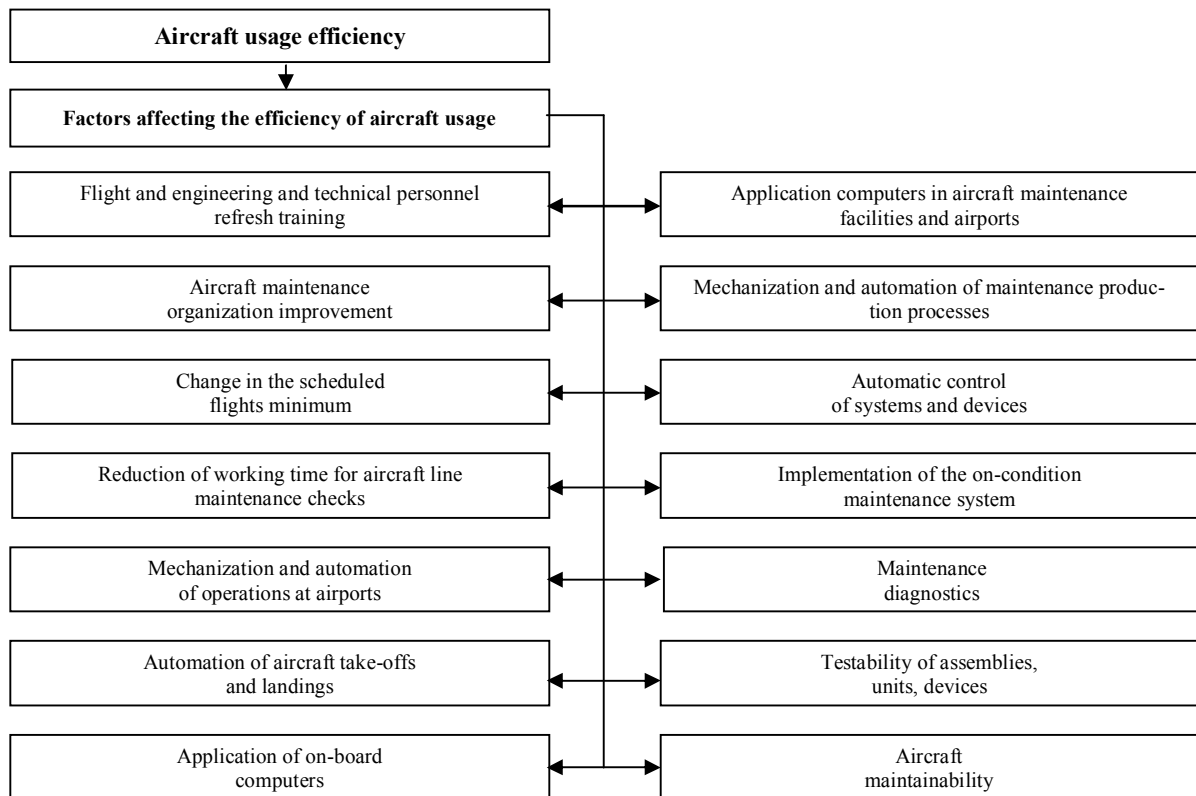


Fig. 2. Factors affecting the efficiency of aircraft usage

- equipping with the automated test set of the technical condition of aircraft engines and all critical systems;
- to improve the maintenance and repair organization patterns, the recruitment and staffing of maintenance work crew of aircraft, production facilities and maintenance personnel employment terms;
- increase the usage of night time;
- avoid night aircraft downtime at intermediate and terminal airports by rational scheduling;
- usage of automatic landing approach, which allows to fly in any meteorological conditions.

### Conclusions

Among abovementioned factors and costs, an important place is occupied by the problems of aircraft maintenance. So the specific weight of the costs for aircraft maintenance is 17% of the total cost of their operation. A major part in improving the efficiency of aircraft usage is currently played by the improvement, automation of maintenance systems, and the training systems for aircraft maintenance operators, which are achieved through the implementation of IT technologies in the maintenance and repair system.

### REFERENCES

1. *Rekomendatsiya po sovershenstvovaniyu sistemy upravleniya kachestvom tekhnicheskogo obsluzhivaniya aviatsionnoy tekhniki v ATB grazhdanskoj aviatsii* [Recommendation on the improvement of the quality management system for aviation equipment maintenance at maintenance facility in the Civil Aviation]. Moscow: Vozdushnyy transport, 1986, p. 48 (in Russian)
2. Order no. 209 dd April 20<sup>th</sup>, 2010 *Pro zatverdzhennia Pravyl skhvalennia orhanizatsii z tekhnichnoho obsluhovuvannia (Part-145) ta zatverdzhennia Zmin do Pravyl sertyfikatsii orhanizatsii z tekhnichnoho obsluhovuvannia aviatsiinoi tekhniki* [About approval of "Maintenance Organization Approvals" (Part-145) and approval of changes to the Rules of Aircraft Maintenance Organizations Certification], K: Ministry of Transport and Communications of Ukraine, 2010, p. 14 (in Ukrainian)
3. *Metodychni rekomendatsii shchodo pryiniatnykh metodiv vstanovlennia vidpovidnosti ta kerivnyi material (AMC&GM) do Pravyl skhvalennia z tekhnichnoho obsluhovuvannia (Part-145)* [Guidelines for Acceptable means of Compliance and Guidance material (AMC & GM) to Part-145 Maintenance Organization Approvals], 2011, K, p. 129 (in Ukrainian)
4. Smirnova N. N., Vladimirov N.I., Chernenko Zh.S., eds Smirnova N. N. (1990) *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya letatelnykh apparatov* [Lifting vehicles maintenance]. Moscow: Transport, p. 423 (in Russian)
5. Kashtanov V.A. (1984) *Polumarkovskie modeli protsessa tekhnicheskogo obsluzhivaniya* [Semi-Markov models of maintenance process]. Moscow: Znaniye, p. 423 (in Russian)
6. Gubinskiy A. I. (1982) *Nadezhnost i kachestvo funkcionirovaniya ergaticheskikh sistem* [Reliability and quality of ergatic systems functioning]. Leningrad: Nauka, p. 269 (in Russian)
7. Venda V.F. (1975) *Inzhenernaya psikhologiya i sintez sistem otobrazheniya informatsii* [Engineering psychology and synthesis of information display systems]. Moscow: Mashinostroenie, p. 396 (in Russian)
8. Galaktionov A.I. (1978) *Osnovy inzhenerno-psikhologicheskogo proektirovaniya ASU TP* [Fundamentals of engineering-psychological project]. Moscow: Energiya, p. 160 (in Russian)
9. Shibanov G.P. (1983) *Kolichestvennaya otsenka deyatelnosti cheloveka v sistemakh chelovek, tekhnika* [Quantitative assessment of human activities in systems human, technology]. Moscow: Mashinostroenie, p. 263 (in Russian)

10. Editors: Avduevskiy V. S., et al. (1986) *Nadezhnost i effektivnost v tekhnike* [Reliability and efficiency in engineering]. Reference book in 10 vol., Moscow: Mashinostroenie, vol. 1 *Metodologiya. Organizatsiya. Terminologiya* [Methodology. Organization. Terminology] eds Rembezy A. I., p. 223 (in Russian)
11. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава. ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
12. Smirnov N. N, Mulkidzhanov I.K. (1972) *Ekspluatatsionnaya tekhnologichnost transportnykh samoletov* [Operational technology of transport aircraft]. Moscow: Transport, p. 208 (in Russian)
13. Kuchuk G., Kovalenko A., Kharchenko V., Shamraev A., "Resource-oriented approaches to implementation of traffic control technologies in safety-critical I&C systems" in book: *Green IT Engineering: Components Network and Systems Implementation*, Springer International Publishing, vol. 105, pp. 313-338, 2017.
14. Savenkov M.V., Zakirov R.A. *Inzhenerno-tekhnicheskoe obespechenie avtomatizirovannykh sistem upravleniya v aviatsii* [Engineering support of automated control systems in aviation]. Moscow: Mashinostroenie, p. 272 (in Russian)

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І. В. Шостак,  
Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського «ХАІ», Харків  
Received (Надійшла) 17.11.2018  
Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

#### **Применение информационных технологий при техническом обслуживании для обеспечения надежности работы авиационной техники**

Е. С. Нестеренко, С. В. Рагулин, И. О. Сыроежка, О. Н. Дмитриев, Н. Г. Живицкий, А. Н. Шарабайко

В ходе эксплуатации авиационной техники проводится комплекс работ по поддержке и восстановлению ее исправности и работоспособного состояния, если это необходимо и возможно. Эти задачи решаются с помощью информационных систем при обслуживании авиационной техники. При необходимости и возможности во время эксплуатации авиационной техники выполняется комплекс работ по поддержке и восстановлению ее исправного и исправного состояния. Эти задачи решаются с помощью ИТ-решений при обслуживании авиационной техники. Техническое обслуживание самолетов является важной составляющей авиационной системы, которая обеспечивает функционирование авиации во всем мире. Поскольку производительность воздушного движения растет, а жесткие требования к соблюдению графика коммерческих рейсов обуславливают необходимость увеличения интенсивности использования воздушных судов. Также продолжается ужесточение требований к своевременности технического обслуживания. Техническое обслуживание - это комплекс работ (набор операций), который выполняется на авиационном оборудовании во время предполетной и послеполетной подготовки, хранения и транспортировки с целью поддержания его работоспособности и работоспособности. Продукты для технического обслуживания - это не новые продукты, а выполняемые задачи, предусмотренные в производственном задании. Качество технического обслуживания отражает качество труда инженерно-технического персонала авиационно-технического обслуживания объекта. Первоочередная задача системы качества - предоставить организации по техническому обслуживанию гарантированную возможность производства надежных изделий. Для оценки полноты соответствия объема и технологии выполнения работ, предоставленных исполнителями и предусмотренных задачами технического обслуживания, а также для сравнения результатов работы различных операторов и сотрудников с установленными стандартами, необходимыми для обоснования процедур которые направлены на улучшение качества и оценку эффективности, вводятся показатели качества обслуживания. Качество обслуживания обеспечивается технологическим оборудованием и организацией процесса с использованием ИТ-систем, которые должны соответствовать правилам, утвержденным компетентными организациями по техническому обслуживанию.

**Ключевые слова:** информационные системы обслуживания авиационной техники.

#### **Застосування інформаційних технологій під час технічного обслуговування з метою забезпечення надійності експлуатації авіаційної техніки**

К. С. Нестеренко, С. В. Рагулін, І. О. Сироїжка, О. М. Дмитрієв, М. Г. Живицький, О. М. Шарабайко

У ході експлуатації авіаційної техніки проводиться комплекс робіт за підтримкою і відновленням її коректності і працездатного стану, якщо це необхідно і можливо. Ці задачі вирішуються за допомогою інформаційних систем при обслуговуванні авіаційної техніки. При необхідності і можливості під час експлуатації авіаційної техніки виконується комплекс робіт за підтримки і відновлення її виправданого і виправданого стану. Задачі реєстрації з використанням ІТ-рішень при обслуговуванні авіаційної техніки. Технічне обслуговування літаків є важливою складовою авіаційної системи, яка забезпечує функціонування авіації у всьому світі. У цілому продуктивність повітряного руху зростає, а жорсткі вимоги до серйозної графіки промислових рейсів обумовлюють необхідність збільшення інтенсивності використання повітряних судів. Також продовжується вживання вимог до своєчасного технічного обслуговування. Технічне обслуговування - це комплекс робіт (наборів операцій), який виконується на авіаційному обладнанні під час попередньої і післяопераційної підготовки, зберігання та транспортування з метою підтримки його працездатності. Продукти для технічного обслуговування - це не нові продукти, які виконуються завдання, передбачені в виробничому завданні. Якість технічного обслуговування відображає якості праці інженерно-технічного персоналу авіаційно-технічного обслуговування об'єкта. Першочергова задача системи якості - надавати організації по технічному обслуговуванню гарантовану можливість виробництва надійних виробів. Для оцінки повноти відповідності об'єму і технологіям виконання робіт, наданих виконавцям і передбаченим завданням технічного обслуговування, а також для порівняння результатів роботи різних операторів і співробітників з встановленими стандартами, необхідними для покращення процедури та оцінки ефективності. Якість обслуговування забезпечується технологічним обладнанням і організацією процесу з використанням ІТ-систем, які повинні відповідати правилам, затвердженим компетентними організаціями за технічним обслуговуванням.

**Ключові слова** – інформаційні системи обслуговування авіаційної техніки.

А. Г. Тецький

Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

## АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ І МОЖЛИВОСТЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ WEB-ЗАСТОСУНКІВ, СТВОРЕНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ВМІСТОМ

Дослідження процесів отримання несанкціонованого доступу в системах керування вмістом являє науковий інтерес і дає можливість розробляти ефективні способи захисту від вторгнень. **Предметом** дослідження є процеси оцінювання та забезпечення безпеки Web-застосунків, створених за допомогою систем керування вмістом. **Метою статті** є визначення проблем оцінювання і забезпечення безпеки Web-застосунків. **Результати.** Показано особливості використання систем керування вмістом в якості об'єкта дослідження проблем безпеки. Визначено основні причини успішних атак Web-застосунків. Наведені приклади існуючих методів тестування безпеки, визначено їх переваги та недоліки. Запропоновано комплекс дій, спрямованих на зниження ймовірності успішної атаки. **Висновок.** Визначено проблеми оцінювання та забезпечення безпеки Web-застосунків. Зумовлено необхідність створення методів для вирішення проблем, показано взаємозв'язок вирішуваних завдань.

**Ключові слова:** атака, безпека, Web-застосунок, система керування вмістом, тестування на проникнення.

### Вступ

Системи керування вмістом є програмним забезпеченням, за допомогою якого можна досить швидко і легко створити Web-сайт в мережі Інтернет. Завдяки таким системам, кількість сайтів в мережі безперервно зростає, оскільки для створення сайту не потрібно володіти мовами програмування. Налаштування та управління такою системою відбувається через панель адміністратора за допомогою використання Web-інтерфейсу. Необхідність використання різноманітного функціоналу на сайтах привела до того, що практично всі системи керування вмістом стали мати модульну архітектуру. Використання такого підходу дозволяє додати потрібну функціональність на сайт шляхом установки необхідних доповнень (модулів, плагінів). Однак за великою кількістю переваг систем керування вмістом криються і недоліки, про які власники сайтів часто забувають.

Одним з таких недоліків є проблема безпеки. Практично завжди власник електронного ресурсу не знає про те, які уразливості присутні в кодї його сайту. Зростання кількості сайтів в мережі Інтернет супроводжується зростанням інтересу злоумисників в даній сфері [1]. Таким чином, дослідження процесів отримання несанкціонованого доступу в системах керування вмістом являє науковий інтерес і дає можливість розробляти ефективні способи захисту від вторгнень [2].

**Метою статті** є визначення проблем оцінювання і забезпечення безпеки Web-застосунків, створених за допомогою систем керування вмістом.

### Основні результати

Система керування вмістом (англ. CMS – Content Management System) є частиною багатокomпонентної системи, яка забезпечує функціонування Web-застосунка. При оцінюванні безпеки варто пам'ятати про те, що будь-який компонент цієї системи може містити вразливості, які можуть привести до компрометації Web-застосунка. Дослідження

уразливостей інших компонентів (наприклад, операційної системи) представляє окрему тему для досліджень.

В даний час для створення Web-застосунків можуть бути використані різні технології і мови програмування. На рис. 1 показаний набір серверного програмного забезпечення LAMP, який найбільш часто застосовується при створенні Web-ресурсів.

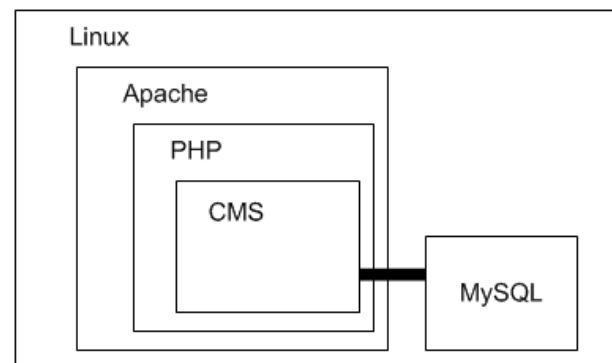


Рис. 1. Набір серверного ПЗ

Системи керування вмістом, створені за допомогою вищевказаних технологій, становлять найбільший інтерес при виявленні проблем безпеки. Згідно зі статистикою, проекти, створені з використанням мови програмування PHP, містять більше уразливостей в порівнянні з проектами, створеними з використанням інших мов програмування. Це зумовлено тим, що мова PHP має низький поріг входження, тобто освоїти цю мову можна з меншими витратами часу.

Можна виділити дві основні причини успішних атак Web-застосунків:

– низький рівень знань в області інформаційної безпеки розробника системи керування вмістом (або її компонента);

– низький рівень знань в області інформаційної безпеки адміністратора системи керування вмістом.

Перша причина виходить з того, що досить тривалий час проблемам безпеки не приділялася

належна увага. Розробник пише код, який виконує необхідну функціональність, і не думає про те, до яких наслідків може привести його помилка у вигляді забутої перевірки будь-якої умови або параметра. З іншого боку, замовник теж не завжди зацікавлений у написанні безпечного коду. Замовник зацікавлений у створенні нових переваг свого сайту серед конкурентів, що повинно приводити до збільшення прибутку. Він може просто не розуміти, до яких наслідків може привести злом його сайту.

Друга проблема стосується суспільства в цілому. Далеко не всі розуміють, чому не можна встановлювати на свій комп'ютер програмне забезпечення з недостовірних джерел, чому не можна вказувати легкі паролі при реєстрації де-небудь і т.д. Від власників сайтів можна почути фразу «Навіщо комусь потрібно зламувати мій сайт?». Відповідаючи на це питання, варто пам'ятати, що атаки бувають таргетовані та нетаргетовані, тобто з певною метою (об'єктом) атаки або ж без неї [3]. Навіть якщо власник ресурсу впевнений в тому, що його сайт не може бути об'єктом цільової атаки, сайт все одно може бути атакований внаслідок нетаргетованої атаки. Боти, що працюють в автоматичному режимі, можуть потрапити на будь-який сайт і провести якусь послідовність атак (наприклад, пошук і експлуатація відомих уразливостей або перевірка наявності обробки вхідних даних). Якщо сайт був успішно атакований або за будь-якими ознаками проявив схильність до успішної атаки, бот повідомляє інформацію про цей сайт зловмисникові, і тоді цей сайт може бути зламаний за участю людини і додаткових інструментів. Під зломом і успішною атакою мається на увазі отримання несанкціонованого доступу до панелі управління сайтом.

Ті власники сайтів, які розуміють, до чого може привести злом їх сайту, починають цікавитися тим, наскільки легко їх сайт зламати. Виникає необхідність оцінювання ймовірності успішної атаки Web-застосунка [4].

Існуючі напрацювання в цій галузі в більшості випадків націлені на проведення тестування безпеки, а не на оцінювання ймовірності успішної атаки в цілому. Наприклад, проектом OWASP був розроблений перелік конкретних завдань під назвою «Web Application Security Testing Cheat Sheet», які повинні бути перевірені тестувальником в процесі пошуку проблем безпеки [5]. Знайдені проблеми можуть перетинатися з критичними проблемами безпеки, описаними цим же проектом в документі «OWASP Top 10 – 2017 The Ten Most Critical Web Application Security Risks» [6]. У цьому документі показані 10 найбільш критичних проблем безпеки Web-застосунків. Кожна проблема має якісні показники, такі як можливість злому, поширеність, можливість виявлення і критичність наслідків. Базуючись на цих показниках, можна отримати якісну оцінку за показником «Можливість зламу», розглядаючи тільки проблеми з високою критичністю наслідків.

Описаний вище метод націлений на виявлення проблем безпеки, які могли бути допущені розробниками при створенні Web-застосунка. Але не варто

забувати про другу причину успішних атак – про адміністраторів систем керування вмістом. Загальні правила щодо складності паролів, зберігання паролів, передачі прав доступу і т.п. повинні регламентуватися за допомогою політики безпеки. Процес перевірки наявності політик безпеки і їх дотримання називається Web-аудитом. У результаті його проведення можна отримати лише відсоток покриття вимог, однак само по собі це число ні про що не говорить, оскільки порушення різних вимог мають різну критичність.

Підводячи підсумок вищесказаного, слід акцентувати увагу на тому, що результати тестування на проникнення і результати Web-аудиту окремо не можуть дати кількісну оцінку ймовірності успішної атаки. Тому необхідний метод оцінювання, заснований на результатах тестування на проникнення і Web-аудиту.

Після оцінювання ймовірності успішної атаки може виникнути необхідність у зниженні розрахованої ймовірності. Це може бути досягнуто за допомогою впровадження додаткових заходів захисту Web-застосунка, проведення тренінгів для персоналу, що використовує системи керування вмістом, і т.п. Розглянемо деякі дії по захисту Web-застосунка докладніше.

Проведення тренінгів для персоналу необхідно для підвищення загального рівня знань в області інформаційної безпеки. Співробітники повинні розуміти, до чого може привести використання легких паролів, зберігання паролів в різному вигляді, використання програмного забезпечення невідомого походження.

Налаштування захищеного з'єднання дозволяє запобігти перехопленню чутливих даних при передачі. Дослідження компанії SEMrush на вибірці з 100000 сайтів показали, що захищене з'єднання використовують близько 31,5% сайтів [7]. Цей показник був актуальний в 2017 році, в 2014 році цей же показник був близько 7,6%. В даний час багато хостинг-провайдерів полегшують процес отримання сертифікату для шифрування даних. Раніше компанія Google повідомила, що використання шифрування матиме позитивний вплив на ранжування [8].

Установка та налаштування файрволу ускладнює або унеможливує експлуатацію уразливостей і проведення деяких інших атак. Наприклад, використання брандмауера ModSecurity є безкоштовним, але його необхідно налаштувати для максимально ефективного використання, щоб запобігти якомога більше атак і при цьому не нашкодити працездатності самої системи керування вмістом.

Усі ці заходи вимагають фінансових затрат і заздалегідь невідомо, наскільки ці заходи будуть ефективні. Коефіцієнти впливу можуть бути визначені тільки шляхом експертних оцінок. Потрібен метод вибору найбільш ефективних контрзаходів в умовах обмеженого бюджету [9, 10].

Моделювання впливу контрзаходів на показник успішності атаки дозволяє побудувати графік залежності показника успішності атаки від загальної вартості послуг із захисту Web-застосунка. Викори-

стовуючи такий графік, можна приймати рішення з приводу доцільності використання тих чи інших заходів захисту. Приклад такого графіка показаний на рис. 2. У статті [11] описаний метод вибору заходів захисту, який дозволяє отримати графічне представлення залежності показника успішності атаки від бюджету. Послуги по створенню сайтів і вирішенню проблем безпеки найчастіше надаються організаціями або фізичними особами. Але також бувають випадки, коли майбутній власник сам займається налаштуванням і створенням сайту. У разі небажання або неможливості звернення до організації, що надають послуги в сфері інформаційної безпеки Web-застосунків, власник може сам провести оцінювання ймовірності успішної атаки свого сайту. В цьому випадку визначити достовірність оцінки неможливо. Оскільки в процесі оцінювання необхідно проведення тестування на проникнення, яке майже завжди проводиться з використанням інструментальних засобів, то необхідно створити агрегатор, який буде містити інформацію про інструментальні засоби. Такий сервіс повинен допомогти вибрати інструментальний засіб для вирішення конкретного завдання тестування на проникнення.

Взаємозв'язок завдань оцінювання і зниження ймовірності успішної атаки, а також завдання вибору інструментальних засобів тестування на проникнення, показано на рис. 3.

Передбачаються такі варіанти розвитку подій:

1. Власник електронного ресурсу звертається до особи / організації, яка проводить оцінювання (постачальник послуг). Власник виявився задоволений результатами оцінювання і не має бажання замовляти послуги щодо зниження ймовірності успішної атаки. Такий сценарій можна позначити літерою «О».

2. Після оцінювання у власника є бажання знизити ймовірність успішної атаки. Постачальник послуг вказує вартість послуг і відповідні коефіцієнти впливу кожної послуги. Будується графік залежності ймовірності успішної атаки від загальної вартості послуг. Власник визначає допустимий бюджет, постачальник послуг надає вибрані послуги. Такий сценарій позначається буквами «О – 3».

3. Власник має можливість і бажання самостійно провести оцінювання, але він не є компетентним фахівцем в питаннях інформаційної безпеки і не знає, які інструментальні засоби необхідно використовувати. Власник електронного ресурсу вибирає необхідні інструменти і проводить оцінювання самостійно. Такі сценарії будуть позначені «В – О» і «В – О – 3» відповідно, в залежності від необхідності проведення зниження ймовірності успішної атаки.

Пунктирна стрілка «3 – О» показує можливе бажання власника електронного ресурсу заново провести оцінювання після проведення заходів щодо зниження ймовірності успішної атаки.

Виходячи з усього вищесказаного, виникає необхідність створення методів оцінювання та забезпечення безпеки систем керування вмістом, а також методу вибору інструментальних засобів тестування на проникнення.

Створені рішення будуть корисні постачальникам послуг в сфері інформаційної безпеки Web-застосунків, а також особам, які бажають підвищити рівень знань в цій же сфері.

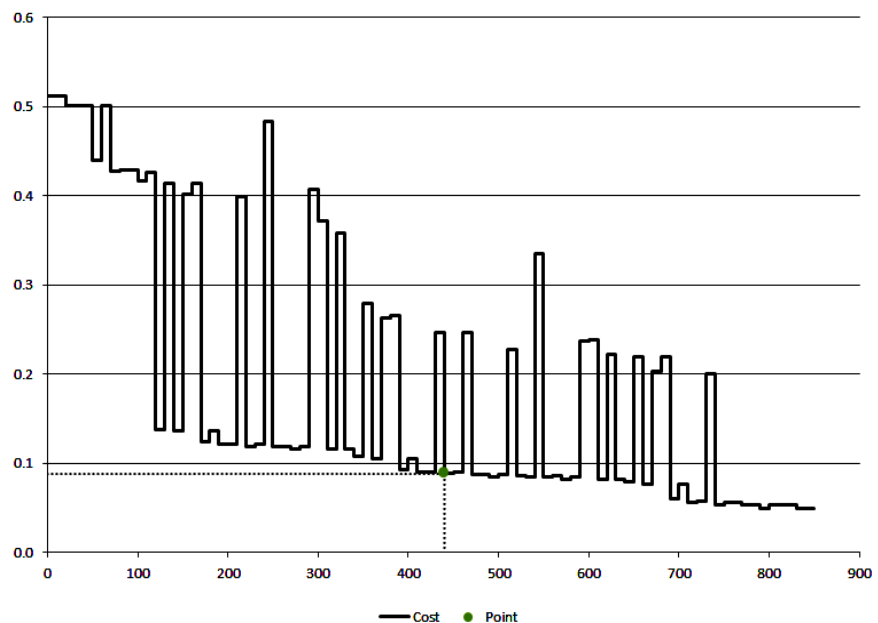


Рис. 2. Графік залежності показника успішності атаки від бюджету

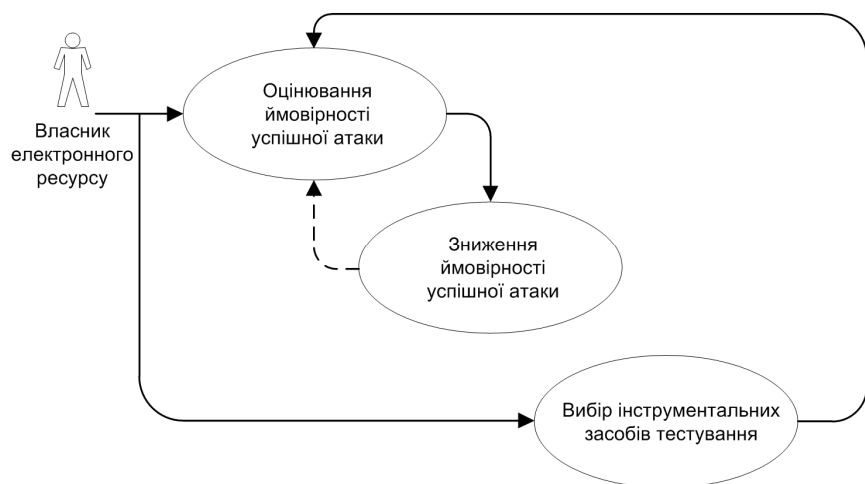


Рис. 3. Взаємозв'язок завдань

**ВИСНОВОК**

У даній статті були визначені основні причини успішних атак Web-застосунків, показані особливості дослідження проблем безпеки систем керування вмістом. Наведені приклади існуючих методів тестування безпеки, визначені їх переваги та недоліки.

Запропоновано комплекс дій, спрямований на зниження ймовірності успішної атаки. Також визначені проблеми оцінювання та забезпечення безпеки Web-застосунків.

Зумовлено необхідність створення методів для вирішення проблем, показано взаємозв'язок вирішуваних завдань.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Hacked Website Report 2017 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://sucuri.net/reports/Sucuri-Hacked-Report-2017.pdf> (дата звернення: 10.12.2018)
2. WAF and IPS. Does your environment need both? [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://cybersins.com/security-waf-ids-dilemma/> (дата звернення: 09.12.2018)
3. Sood, A. K. Targeted cyberattacks: a superset of advanced persistent threats / A. K. Sood, R. J. Enbody // IEEE security & privacy. – 2013. – Vol. 11(1). – P. 54-61.
4. А. Г. Тецкий. Применение деревьев атак для оценивания вероятности успешной атаки web-приложения // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2018. – № 3. – С. 74–79.
5. Web Application Security Testing Cheat Sheet [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.owasp.org/index.php/Web\\_Application\\_Security\\_Testing\\_Cheat\\_Sheet](https://www.owasp.org/index.php/Web_Application_Security_Testing_Cheat_Sheet) (дата звернення: 05.12.2018)
6. OWASP Top 10 – 2017 The Ten Most Critical Web Application Security Risks [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.owasp.org/index.php/Category:OWASP\\_Top\\_Ten\\_Project](https://www.owasp.org/index.php/Category:OWASP_Top_Ten_Project) (дата звернення: 10.12.2018)
7. Why You Should Move Your Site to HTTPS: SEMrush Data Study [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.semrush.com/blog/why-you-should-move-your-site-to-https-semrush-data-study/> (дата звернення: 01.12.2018)
8. HTTPS as a ranking signal [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://webmasters.googleblog.com/2014/08/https-as-ranking-signal.html> (дата звернення: 05.12.2018)
9. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010.– Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.
10. Saravana Balaji B., Amin Salih Mohammed, Chiai Al-Atroshi, “Adaptability of SOA in IoT Services – An Empirical Survey”, Int. Journal of Computer Applications, vol. 182(31), pp. 25-28, 2018, DOI: <http://doi.org/10.5120/ijca2018918249>
11. Tetskyi A. The method of selecting measures to protect the Web application against attacks // Сучасні інформаційні системи. – 2018. – Т. 2, № 4. – С. 114–118.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г. А. Кучук,  
 Національний технічний університет «ХПІ», Харків  
 Received (Надійшла) 13.10.2018  
 Accepted for publication (Прийнята до друку) 26.12.2018

**Анализ проблем и возможностей обеспечения безопасности Web-приложений,  
 созданных с помощью систем управления контентом**

А. Г. Тецкий

Исследование процессов получения несанкционированного доступа в системах управления содержимым представляет научный интерес и дает возможность разрабатывать эффективные способы защиты от вторжений. **Предметом** исследования являются процессы оценивания и обеспечения безопасности Web-приложений, созданных с помощью систем управления контентом. **Целью** статьи является определение проблем оценивания и обеспечения безопасности Web-приложений. **Результаты.** Показаны особенности использования систем управления контентом в качестве объекта исследования проблем безопасности. Определены основные причины успешных атак Web-приложений. Приведены примеры существующих методов тестирования безопасности, определены их достоинства и недостатки. Предложен комплекс действий, направленный на снижение вероятности успешной атаки. **Заключение.** Определены проблемы оценивания и обеспечения безопасности Web-приложений. Обусловлена необходимость создания методов для решения проблем, показана взаимосвязь решаемых задач.

**Ключевые слова:** атака, безопасность, Web-приложение, система управления контентом, тестирование на проникновение.

**Analysis of problems and opportunities for ensuring the security of Web applications created  
 with using content management systems**

A. Tetskyi

Investigation of the processes of obtaining unauthorized access in content management systems is a scientific interest and provides an opportunity to develop effective methods of protection from intruders. The **subject matter** of the research is the processes of evaluating and ensuring the security of Web applications created with using content management systems. The **goal** of the paper is to determine the problems of evaluating and ensuring the security of Web applications. **Results.** The features of the use of content management systems as an object of research security issues are shown. The main reasons of successful attacks of Web applications are identified. Examples of existing security testing methods are shown; their advantages and disadvantages are identified. A set of actions aimed at reducing the successful attack probability is proposed. **Conclusion.** The problems of evaluating and ensuring the security of Web applications are identified. The need of creation methods to solve problems is determined; the relationship of tasks is shown.

**Keywords:** attack, security, Web application, content management system, penetration testing.



Л. С. Глоба, О. І. Романов, С. В. Суліма

Національний технічний університет України "КПІ імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

## МЕТОД РЕКОНФІГУРАЦІЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ З ВІРТУАЛІЗОВАНИМИ РЕСУРСАМИ

З врахуванням величезного зростання мобільного трафіку даних, з одного боку, та помірного середнього доходу на кожного користувача, з іншого боку, оператори мобільного зв'язку вивчають технології мережевої віртуалізації та технології хмарних обчислень для побудови економічно ефективних та еластичних мобільних мереж та їх пропонування як хмарних сервісів. **Предметом** вивчення в статті є процеси конфігурування телекомунікаційної мережі для вирішення завдань обробки службового навантаження. **Метою** є підвищення ефективності роботи мережі шляхом здійснення реконфігурації топології. **Завдання:** розробити математичну модель та відповідну процедуру реконфігурації ресурсів телекомунікаційної мережі при перевантаженнях або відмовах. Використовуваними **методами** є: графовий підхід та математичні моделі оптимізації для задачі перерозташування мережевих функцій, імітаційне моделювання для дослідження роботи запропонованого методу реконфігурації ресурсів в мережах з віртуалізацією. Отримані такі **результати**. У статті представлено метод локальної реконфігурації обчислювальних ресурсів віртуальної мережі у випадку відмови або перевантаження. **Висновки.** Отриманий метод враховує динамічну зміну топології мережі обслуговування та на відміну від існуючих дозволяє гнучко визначати конфігурацію обчислювальних ресурсів обслуговування, розміщати мережеві функції з мінімальними витратами та децентралізовано контролювати показники якості. Метод використовує евристичну модель для визначення оптимального місця міграції віртуалізованих мережевих функцій з фізичного вузла з відмовою або перевантаженням, а результати моделювання у системі Mathcad показують підвищення ефективності використання ресурсів. Проведені дослідження показали доцільність використання запропонованих рішень при вдосконаленні існуючих телекомунікаційних мереж та при побудові нових перспективних гнучких добре масштабованих мереж оператора зв'язку із повним або частковим застосуванням принципу віртуалізації мережевих функцій.

**Ключові слова:** NFV, виділення ресурсів, мобільна мережа, реконфігурація, міграція вузлів.

### Вступ

Очікується, що загальний трафік до 2022 року збільшиться до приблизно 77 екзабайтів [1], тому мобільні оператори шукають шляхи отримання економії від масштабування [2]. Віртуалізація мережевих функцій (Network Function Virtualization – NFV) дозволяє забезпечити економію за рахунок заміни великої кількості фізичних пристроїв програмним забезпеченням, що працює на розподілених хмарних платформах, і стає ключовою технологією для надання мережевих сервісів, особливо останнім часом у зв'язку з таким безпрецедентним зростанням трафіку та збільшення різноманіття та динамічності мережевих сервісів, якими користуються абоненти [3].

Хмарні обчислення (Cloud Computing) – це модель забезпечення повсюдного та зручного доступу на вимогу через мережу до спільного пулу ресурсів, що підлягають налаштуванню і які можуть бути оперативно надані та звільнені з мінімальними управлінськими затратами та зверненнями до провайдера [4]. Для того, щоб розмістити віртуальний вузол, фізична машина повинна надати всі ресурси, які вимагає віртуальна машина, в тому числі використання процесора, пам'ять, сховище та пропускну здатність [5].

NFV пропонує численні переваги для провайдерів телекомунікаційних сервісів, включаючи зниження вартості мережевого обладнання, мінімізацію споживання електроенергії, масштабованість, еластичність, повторне використання обладнання, легку мультитенантність та швидку конфігурацію нових

послуг [6]. NFV сервіси складаються з набору мережевих функцій. Кожна така композиція називається ланцюжком сервісних функцій – service function chain (SFC).

Ймовірним застосуванням концепції NFV є розгортання та масштабування таких вузлів мобільної мережі як MME, S/P-GW тощо, підтримуючи їх характеристики продуктивності на належному рівні економічно ефективним чином, на відміну від статичного варіанту, коли ресурси виділяються надмірно для найбільшого навантаження, а не на основі поточної ситуації у мережі. Крім того, важливим випадком використання є динамічна реконфігурація топології з метою реагування на зміни пов'язані з перевантаженням або відмовами.

Надзвичайну увагу в будь-якій телекомунікаційній системі приділяють стійкості обслуговування, яка характеризується принципом надійності п'яти дев'яток. В свою чергу хмарна платформа не завжди може її гарантувати, що пов'язано з відмовами на різних рівнях – апаратного забезпечення (наприклад, через помилки у масштабуванні), програмних засобів, помилок в управлінні віртуалізованими мережевими функціями, на рівні гіпервізора у зв'язку з неправильною конфігурацією, зменшення продуктивності через вплив навантаження на вузол з інших мережевих функцій, зловмисних атак, тощо [7]. Загалом відмови серверів мають вищу інтенсивність відмов ніж телекомунікаційне апаратне забезпечення [8]. Крім того можуть виникати випадки, коли провайдер інфраструктури буде

здійснювати задачі техобслуговування вузлів і це потребуватиме міграції вузлів або наявних на вузлах ресурсів буде недостатньо для забезпечення заданого рівня якості обслуговування.

Відображення SFC на фізичний субстрат є надзвичайно активним напрямком досліджень. Наприклад, такі методи пропонуються у [9]. Проте мало уваги приділялося оптимальному здійсненню реконфігурації віртуалізованих мобільних мереж.

В існуючих роботах увага зосереджується на стратегіях розгортання [10] і механізмах міграції [11, 12]. Проте важливим фактором при здійсненні міграції виступають витрати пов'язані з нею, які повинні враховуватись при виборі цільового розташування вузла та самого вузла, що мігрує. Хоча проблема адаптації шляхів у контексті віртуалізованих мереж розглядалась у ряді досліджень [13, 14], вирішення задачі відновлення роботи віртуалізованого вузла після відмови було висвітлено лише у [8], при цьому не було враховано витрати пов'язані з використанням ресурсів на вузлах та кінцева якість обслуговування. Невирішеними раніше залишались питання вибору вузлів, які будуть виступати менеджерами реконфігурації, а також не розглянуто випадок відмови вузла через надмірне навантаження, що надходить на нього, і задача вибору місць міграції віртуалізованих вузлів у разі глобальної реконфігурації мережі.

Далі припускаємо, що оптимальне розміщення віртуалізованих мережевих функцій вже виконано (наприклад, відповідно до методу описаному у [15]), а оптимальне розміщення вузлів керування (менеджерів) у мережах, заснованих на NFV, здійснено відповідно до методу описаному у [16]. У даній роботі представляється метод, який ефективно перерозподіляє віртуальні вузли, на які впливає перевантаження на фізичному вузлі. Основна мета пропонованої роботи полягає в розробці механізму самовідновлення віртуальної мережі, який може мінімізувати період переривання обслуговування і вартість відновлення вузла після відмови, а також підтримувати високий рівень фізичної працездатності мережі, що, в свою чергу, збільшує прибуток провайдера.

**Модель мережі та постановка задачі**

Фізична мережа задана у вигляді графа  $SN = (N, L)$ , де  $N$  є множиною фізичних вузлів і  $L$  – множиною каналів. Кожен канал  $(n_1, n_2) \in L, n_1, n_2 \in N$  має максимальну пропускну здатність  $cap(n_1, n_2)$  і мережеву затримку  $L(n_1, n_2)$ , а кожен вузол  $n \in N$  пов'язаний з певними ресурсами  $res_n^i, i \in R$ , де  $R$  – множина типів ресурсів. Мережа зв'язку представлена множиною ланцюгів сервісів (або запитів віртуальної мережі)  $T$ , які вбудовуються в фізичну мережу. Запит віртуальної мережі  $t, t \in T$ , можна представити як зв'язаний граф  $G_t = (V_t, E_t)$ , де  $V_t$  є множиною віртуальних вузлів, що містить  $h_t$  елементів і позначається як  $V_t = (v_{t,1}, v_{t,2}, \dots, v_{t,h_t})$ , де  $v_{t,j}$  означає  $j$ -ту мережеву функцію у ланцюзі функцій  $t$ .  $E_t$  є множиною віртуальних каналів  $e_t(v_{t,j}, v_{t,g}) \in E_t$ . Вимоги смуги пропускання каналу між двома функціями,  $j1$  і  $j2$ , що відносяться до ланцюга сервісів  $t \in T$  позначається

як  $d_t^{(j1,j2)}, d_t^{j1}$  – кількість ресурсу типу  $i$ , що виділяється для мережевої функції  $j$  ланцюга  $t$ . Булеві змінні  $x_n^{t,j}$  вказують, чи мережева функція  $j$ , пов'язана з ланцюгом  $t \in T$ , розташовується на фізичному вузлі  $n$ , змінні  $f_{(n1,n2)}^{t,(j1,j2)}$  визначають, чи фізичний канал  $(n1, n2)$  використовується у шляху між  $j1$  та  $j2$  для запиту  $t$ .  $L_t$  – максимальна затримка для запиту  $t \in T$ .  $\cos tN(i, n)$  – вартість зайнятої одиниці ресурсу  $i$  на фізичному вузлі  $n$ , і  $\cos tL(n1, n2)$  – вартість зайнятої одиниці пропускну здатності на фізичному каналі  $(n1, n2) \in L$ .  $suit_n^{t,j}$  означає що функція  $j$  з запитом  $t$  може бути розміщена на вузлі  $n$ .

$MN$  являє собою множину вузлів керування, де  $MN \subseteq N$ , які відповідають за функціонування пропонованого механізму відновлення після відмови. Кожен керуючий вузол пов'язаний з одним або декількома вузлами фізичної мережі і виконує кроки, необхідні для відновлення після відмови мережі (рис. 1). Процес призначення вузлів керування і критерії, які враховуються при виборі вузлів керування, досліджені у [16].

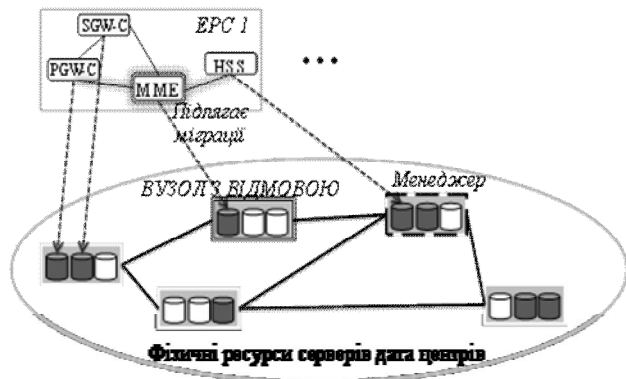


Рис. 1. Система з вузлом з відмовою

Процес відображення віртуальної мережі відбувається в два етапи: відображення вузлів ( $M_N: V_t \rightarrow N$ ) і відображення каналів ( $M_L: E_t \rightarrow L$ ).

**Метод відновлення мережі після відмови або перевантаження**

Процес переміщення вузлів віртуальної мережі, розміщених на вузлі, який відмовив,  $v_{i,j}^{fail}$ , запускається, коли система відправляє запит на відновлення відповідному вузлу-менеджеру. Процес відновлення для кожного вузла віртуальної мережі протікає в такий спосіб: менеджер направляє запит на відновлення до всіх вузлів фізичної мережі, на яких розміщуються віртуальні вузли, суміжні з ураженими віртуальними вузлами. Кожен з цих вузлів буде деревом найкоротших шляхів (Shortest Path Tree – SPT) до всіх вузлів фізичної мережі на відстані не більше  $l$  (поріг встановлюється провайдером послуг) від вузла, де коренем SPT виступає сам цей вузол. Менеджер використовує ці шляхи, щоб вибрати вузол з оптимальною відстанню до всіх вузлів фізичної мережі, де розташовані вузли віртуальної мережі прилегли до несправного вузла. Цей вузол в кінцевому рахунку стає оптимальним кандидатом для розміщення ураженого віртуального вузла. Довжина результуючих шляхів з SPT буде не більше

1, максимальної відстані, дозволеної для шляху, який відображає канал віртуальної мережі. Крім того, ємність кінцевих вузлів шляхів з SPT повинна бути не менше ємності віртуального вузла, розміщеного на несправному фізичному вузлі. Обираємо вузол з мінімальною вартістю шляху до всіх кореневих вузлів у деревах SPT та мінімальною вартістю обчислень. Рис. 2 містить опис псевдокоду алгоритму відновлення вузла після відмови і виконується для всіх  $\{v_{i,j} : x_n^{t,j}=1 \text{ \& } n = \text{failed}\}$ .

```

 $x_n^{t,j} \leftarrow 0$ 
 $S_1 \leftarrow \{m : \exists (e_t(j,m))\}$ 
for all  $\{m \in S_1\}$  do
   $f_{(j,m)} \leftarrow 0$ 
   $w_m \leftarrow M_N(v_{t,m})$ 
end for
 $S_2 \leftarrow \bigcup_{m \in S_1} w_m$ 
Менеджер направляє запит SPT всім фізичним вузлам у  $S_2$ 
for all  $w \in S_2$  do
  Виконати алгоритм SPT
   $S_{3,w} \leftarrow \{q : \text{length}(q,w) \leq l\}$ 
end for
 $S_4 \leftarrow \emptyset$ 
for all  $q \in \bigcup_{w \in S_2} S_{3,w}$  do
  for all  $\{m \in S_1\}$  do
    if  $\exists (e_t(j,m))$  then
       $f_{(q,w_m)}^{t,(j,m)} \leftarrow 1$ 
    end if
  end for
  if  $(\sum_{(b_1,b_2) \in E_t} \sum_{(a_1,a_2) \in L} f_{(a_1,a_2)}^{t,(b_1,b_2)} \cdot L(a_1,a_2) \leq L_t \text{ \& \& } d_t^{j,i} \leq \text{cres}_q^i \forall i \in R \text{ \& \& } d_t^{(j,m)} \leq \text{cres}(q,w_m) \forall m \in S_1)$  then
     $\text{CostNL}_q \leftarrow \text{weight}_1 \cdot \sum_{i \in R} d_t^{t,j} \cdot \text{costN}(i,q) + \text{weight}_2 \cdot \sum_{w \in S_2} \text{costL}(q,w_m) \cdot d_t^{(j,m)}$ 
     $S_4 \leftarrow S_4 \cup q$ 
  end if
  for all  $\{m \in S_1\}$  do
     $f_{(j,m)} \leftarrow 0$ 
  end for
end for
if  $S_4 = \emptyset$  then
  Виконати алгоритм Реконфігурації
else
  Обрати  $\min \text{CostNL}_q, q \in S_4$ 
   $q^* = \text{argmin CostNL}$ 
end if
 $x_{q^*}^{t,j} \leftarrow 1$ 
for all  $\{m \in S_1\}$  do
  if  $\exists (e_t(j,m))$  then
     $f_{(q^*,w_m)}^{t,(j,m)} \leftarrow 1$ 
  end if
end for
end for

```

Рис. 2. Алгоритм відновлення вузла з відмовою

У мережі існує ймовірність відмови вузла через перевантаження. Для виконання відновлення при відмові вузла в перевантаженій мережі, виконується процедура міграції віртуальних вузлів, розміщених на перевантаженому фізичному вузлі.

Процес відновлення починається з сортування всіх віртуальних вузлів, розміщених на перевантаженому фізичному вузлі. Критерієм (CRT на рис. 3) виступає ємність віртуальних вузлів. Потім виконується процедура відновлення на першому відсортованому вузлі віртуальної мережі, що має ємність рівну перевантаженню, для переміщення на новий вузол фізичної мережі.

$n$  = перевантажений  
 $S_1$  ← Відсортувати віртуальні вузли, що розміщуються на  $n$  у зростаючому порядку на основі критерію CRT  
 Вибрати з  $S_1$  перший віртуальний вузол  $v_{t,j}$  де ємність ресурсів не менше перевантаженої ємності  $d_t^{j,i} \geq \Delta \text{cres}_n \forall i \in R$   
 Виконати алгоритм Відновлення Вузла з Відмовою

Рис. 3. Алгоритм відновлення вузла з перевантаженням

За результатами моделювання (рис. 4) запропонований метод показав до 27% менші умовні витрати у порівнянні зі стратегією направленою на мінімізацію затримки, при цьому затримка знаходилась у допустимих межах але була на 20% більшою.

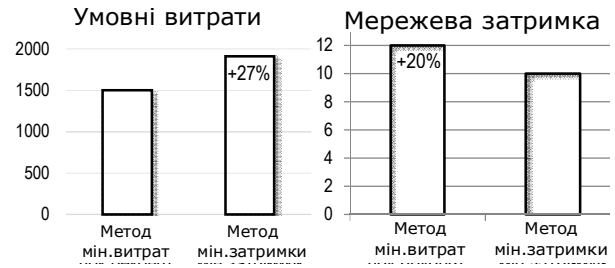


Рис. 4. Результати експерименту

## Реконфігурація перевантажених мереж

Коли навантаження або ресурси змінюються, деякі віртуальні мережеві функції (VNF) можливо доведеться перемістити. Існує ймовірність того, що знайти новий вузол-кандидат для вузла віртуальної мережі, розміщеного на вузлі з відмовою, не вийде. В такому випадку виконується процедура реконфігурації для міграції одного або декількох віртуальних вузлів для переміщення розміщених вузлів віртуальної мережі. Розглянемо задачу міграції як задачу оптимізації, яка спрямована на мінімізацію загальної вартості міграції при обмеженнях допустимої затримки і обчислювальних ресурсів.

Метою оптимізації є знаходження розташування ланцюгів сервісів мережі (тобто розміщення мережевих функцій та розподіл ресурсів, а також визначення шляхів передачі трафіку між ними), так щоб мінімізувати витрати на зайняті ресурси каналів і вузлів у фізичній мережі, при цьому задовольняючи вимоги трафіку. Сформулюємо цільову функцію у вигляді лінійної комбінації (з ваговими коефіцієнтами  $a, b, c, e$ ) вартісних виразів.

Визначимо бінарну змінну  $x_n^{t,j} \in \{0, 1\}$ , для позначення того, що VNF  $j$  пов'язана з ланцюгом сервісу  $t$  розміщується на вузлі  $n$  після міграції. Індикатор  $x_n^{t,j} = 0$  означає, що VNF  $j$  не розміщується на вузлі  $n$  після міграції; в іншому випадку  $j$  розміщується на вузлі  $n$  після міграції.

Введемо бінарну змінну  $y_n^{t,j}$  для індикації стану мережі перед міграцією. Вона схожа зі змінною  $x_n^{t,j}$ ,  $y_n^{t,j} = 0$  означає, що VNF  $j$  ланцюга  $t$  не перебуває на вузлі  $n$  до міграції; в іншому випадку,  $j$  розташована на вузлі  $n$  до міграції.

Таким чином, можемо використовувати індикатор  $I^{t,j}$ , щоб вказати чи VNF  $j$  ланцюга  $t$  було переміщено в поточному процесі міграції:

$$I^{t,j} = \sum_{n \in N} x_n^{t,j} \cdot y_n^{t,j}$$

$I^{t,j} = 0$  вказує, що VNF було переміщено в поточному процесі міграції, і  $I^{t,j} = 1$  вказує, що VNF не було переміщено.

$x_n \in \{1, 0\}$  позначає чи  $n$ -й фізичний сервер працює або ні після міграції.  $y_n \in \{1, 0\}$  позначає чи  $n$ -й фізичний сервер працює або ні перед міграцією.

Для того щоб розглянути ресурси, які споживаються при міграції та запуску серверів, вводимо такі вирази:

–  $B_n$  позначає необхідні витрати  $b_n$  для запуску  $n$ -го серверу:

$$B_n = b_n x_n (x_n - y_n);$$

–  $L_i^{t,j}(n \rightarrow n')$  позначає використання ресурсу  $i$  для міграції VNF  $j$  з ланцюгу сервісу  $t$  з серверу  $n$  на сервер  $n'$ .

$$L_i^{t,j}(n \rightarrow n') = l_i(d^{t,j}) + l'_i(d^{t,j}),$$

де  $l_i(x)$  – функція використання ресурсу  $i$  для міграції з серверу,  $l'_i(x)$  – функція використання ресурсу  $i$  для міграції на сервер.

Цільова функція буде визначатися таким чином:

$$\begin{aligned} Cost_M = & a \cdot \sum_{n \in N} (B_n + x_n \cdot costN(n)) + \\ & + b \cdot \sum_{n \in N} \sum_{t \in T} \sum_{j \in V} \sum_{i \in R} x_n^{t,j} \cdot d_i^{t,j} \cdot costN(i, n) + \\ & + c \cdot \sum_{(n_1, n_2) \in L} costL(n_1, n_2) \cdot \sum_{t \in T} \sum_{(j_1, j_2) \in E} f_{(n_1, n_2)}^{t, (j_1, j_2)} \cdot d_t^{(j_1, j_2)} + \\ & + e \cdot \sum_{n \in N} \sum_{n' \in N} L_i^{t,j}(n \rightarrow n') \cdot x_{n'} \cdot (x_{n'} - y_n). \end{aligned}$$

Використовуючи наведені вище міркування, формулюємо задачу таким чином.

$$Cost_M \rightarrow \min$$

при  $\sum_{n \in N} x_n^{t,j} = 1 \quad \forall t \in T, j \in V;$

$$x_n^{t,j} \leq suit_n^{t,j} \quad \forall t \in T, j \in V, n \in N;$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{j \in V} \left( x_n^{t,j} \cdot d_i^{t,j} + y_n^{t,j} \cdot (1 - I^{t,j}) \cdot l_i(d^{t,j}) + x_n^{t,j} \cdot (1 - I^{t,j}) \cdot l'_i(d^{t,j}) \right) \leq c_n^i \quad \forall n \in N, i \in R;$$

$$\sum_{t \in T} \sum_{(j_1, j_2) \in E} f_{(n_1, n_2)}^{t, (j_1, j_2)} \cdot d_t^{(j_1, j_2)} \leq c(n_1, n_2) \quad \forall (n_1, n_2) \in L;$$

$$\begin{aligned} \sum_{(n,w) \in L} f_{(w,n)}^{t, (j_1, j_2)} - f_{(n,w)}^{t, (j_1, j_2)} = \\ = x_n^{t, j_1} - x_n^{t, j_2} \quad \forall t \in T, n \in N, (j_1, j_2) \in E; \end{aligned}$$

$$\sum_{(j_1, j_2) \in E} \sum_{(n_1, n_2) \in L} f_{(n_1, n_2)}^{t, (j_1, j_2)} \cdot L(n_1, n_2) \leq L_t \quad \forall t \in T.$$

## ВИСНОВКИ

У роботі встановлено, що динамічне надання віртуалізованих ресурсів у системах мобільного зв'язку ставить нові задачі, не вирішені у попередніх дослідженнях систем надання ресурсів. У статті представлено розподілений алгоритм відновлення вузла, який ефективно перерозподіляє віртуальні вузли, що постраждали від збою на фізичному вузлі через перевантаження або відмову. Запропонована схема спирається на співпрацю множини розподілених керуючих вузлів – менеджерів, розміщених на ряді фізичних вузлів для виконання цього завдання. Процес запускається приходом повідомлення про відмову вузла фізичної мережі. Призначений керуючий вузол посилає запити до фізичних вузлів, що містять сусідні вузли до постраждалих віртуальних вузлів для пошуку нового кандидата фізичного вузла. Пошук виконується шляхом побудови найкоротшого шляху (Shortest Path Tree – SPT) від сусідніх вузлів для всіх вузлів-кандидатів в певних межах відстані в фізичній мережі. Розраховані SPT потім використовуються для визначення оптимального вузла-кандидата. Пропонований метод ефективно зменшує вартість відновлення вузла після збоїв, зазванану затримку і час переривання сервісу під час цього процесу, максимізуючи дохід телекомунікаційного провайдера.

Метод може застосовуватись при управлінні функціонуванням віртуалізованої мережі зв'язку для мінімізації витрат оператора зв'язку та покращення якості обслуговування абонентів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Ericsson mobility report, Tech. Rep. Rep. EAB-17, vol. 005964 Uen, Revision B, June 2017 [Online]. – Available at: <https://www.ericsson.com/assets/local/mobility-report/documents/2017/ericsson-mobility-report-june-2017-rnea.pdf>
- Zorello L. M. M. Improving Energy Efficiency in NFV Clouds with Machine Learning / L. M. M. Zorello, M. G. T. Vieira, R. A. G. Tejos, M. A. T. Rojas, C. Meirosu, T. C. M. B. Carvalho // 2018 IEEE 11th International Conference on Cloud Computing (CLOUD). – San Francisco, CA, USA, 2018. – P. 710-717.
- Leivadeas A. Balancing Delay and Cost in Virtual Network Function Placement and Chaining / A. Leivadeas, M. Falkner, I. Lambadaris, M. Ibnkahla, G. Kesidis // 2018 4th IEEE Conference on Network Softwarization and Workshops (NetSoft). – Montreal, QC, Canada, 2018. – P. 433-440.
- Sitaram D. Moving To The Cloud: Developing Apps in the New World of Cloud Computing / D. Sitaram, G. Manjunath. – Massachusetts: Syngress, 2011. – 468 p.
- Vu H.T. A Traffic and Power-aware Algorithm for Virtual Machine Placement in Cloud Data Center / H.T. Vu, S. Hwang // International Journal of Grid and Distributed Computing. – 2014. – Vol. 7, No. 1. – pp. 21-32.
- Ghrada N. Price and Performance of Cloud-hosted Virtual Network Functions: Analysis and Future Challenges / N. Ghrada, M. F. Zhani, Y. Elkhatib // 2018 4th IEEE Conference on Network Softwarization and Workshops (NetSoft). – Montreal, QC, Canada, 2018. – P. 482-487.
- Scholler M. Resilient deployment of virtual network functions / M. Scholler, M. Stiernerling, A. Ripke, R. Bless // Proc. 5th International Congress Ultra Mod. Telecommun. Control Syst. Workshops (ICUMT). – St. Petersburg, Russia, 2013. – P. 208-214.
- Abid H. A novel scheme for node failure recovery in virtualized networks / H. Abid; N. Samaan // 2013 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2013). – Ghent, Belgium, 2013. – P. 1154-1160.
- Eramo V. Computing and Bandwidth Resource Allocation in Multi-Provider NFV Environment / V. Eramo, F.G. Lavacca // IEEE Communications Letters. – 2018. – P. 1-4.

10. Xiong G. A virtual service placement approach based on improved quantum genetic algorithm / G. Xiong, Y.-X. Hu, L. Tian, J.-L. Lan, J.-F. Li, And Q. Zhou // *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*. – 2016. – Vol. 17, No. 7. – P. 661–671.
11. Gember-Jacobson A. OpenNF: Enabling Innovation in Network Function Control / A. Gember-Jacobson, R. Viswanathan, C. Prakash, R. Grandl, J. Khalid, S. Das, and A. Akella // *Proceedings of the 2014 ACM Conference on SIGCOMM*, ser. SIGCOMM '14. – New York, NY, USA, 2014. – P. 163-174.
12. Rajagopalan S. Split/Merge: System Support for Elastic Execution in Virtual Middleboxes / S. Rajagopalan, D. Williams, H. Jamjoom, and A. Wareld // *10th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI 13)*. – Lombard, IL, USA, 2013. – P. 227-240.
13. Fajjari I. VNR Algorithm: A Greedy Approach For Virtual Networks Reconfigurations / I. Fajjari, N. Aitsaadi, G. Pujolle and H. Zimmermann. // *IEEE Global Communications Conference, Exhibition and Industry Forum*. – Houston, United States, 2011. – P. 1-7.
14. Rahman M.R. Survivable Virtual Network Embedding / M. R. Rahman, I. Aib, and R. Boutaba // *NETWORKING 2010*. – 2010. – P. 40-52.
15. Globa L. Method for resource allocation of virtualized network functions in hybrid environment / L. Globa, M. Skulysh, S. Sulima // *2016 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*, 6–9 June 2016 : conference proceedings. — Varna, Bulgaria, 2016. — P. 1–5.
16. Суліма С. В. Метод відновлення мережі у віртуалізованому середовищі / С. В. Суліма // *Радіоелектроніка та інформатика*. — 2017. — № 4(79). — С. 4–8.

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

Український державний університет залізничного транспорту, Харків

Received (Надійшла) 12.12.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.01.2019

### Метод реконфігурації мережі зв'язу з віртуалізованими ресурсами

Л. С. Глоба, А. І. Романов, С. В. Суліма

С учетом огромного роста мобильного трафика данных, с одной стороны, и умеренного среднего дохода на каждого пользователя, с другой стороны, операторы мобильной связи изучают технологии сетевой виртуализации и технологии облачных вычислений для построения экономически эффективных и эластичных мобильных сетей и их предоставление как облачных сервисов. **Предметом** изучения в статье являются процессы конфигурирования телекоммуникационной сети для решения задач обработки служебной нагрузки. **Целью** является повышение эффективности работы сети путем осуществления реконфигурации топологии. **Задача:** разработать математическую модель и соответствующую процедуру реконфигурации ресурсов телекоммуникационной сети при перегрузках или отказах. Используемыми **методами** являются: графовый подход и математические модели оптимизации для задачи перераспределения сетевых функций, имитационное моделирование для исследования работы предложенного метода реконфигурации ресурсов в сетях с виртуализацией. Получены следующие **результаты**. В статье представлен метод локальной реконфигурации вычислительных ресурсов виртуальной сети в случае отказа или перегрузки. **Выводы.** Полученный метод учитывает динамическое изменение топологии сети обслуживания и в отличие от существующих позволяет гибко определять конфигурацию вычислительных ресурсов обслуживания, размещать сетевые функции с минимальными затратами и децентрализованно контролировать показатели качества. Метод использует эвристическую модель для определения оптимального места миграции виртуализированных сетевых функций физического узла с отказом или перегрузкой, а результаты моделирования в системе Mathcad показывают повышение эффективности использования ресурсов. Проведенные исследования показали целесообразность использования предложенных решений при совершенствовании существующих телекоммуникационных сетей и при построении новых перспективных гибких хорошо масштабируемых сетей оператора связи с полным или частичным применением принципа виртуализации сетевых функций.

**Ключевые слова:** NFV, выделение ресурсов, мобильная сеть, реконфигурация, миграция узлов.

### Reconfiguration method for communication network with virtualized resources

L. Globa, O. Romanov, S. Sulima

Given the enormous growth in mobile data traffic, on the one hand, and moderate average revenue per user, on the other hand, mobile operators are exploring network virtualization technologies and cloud computing technologies to build cost-effective and flexible mobile networks and offer them as cloud-based services. The **subject** of study in the article are the configuration processes of the telecommunication network to solve the tasks of service load processing. The **goal** is to increase the efficiency of the network by reconfiguring the topology. **Objective:** to develop a mathematical model and an appropriate procedure for reconfiguring the telecommunication network resources of the in case of overloads or failures. The **methods** used are: graph approach and mathematical optimization models for the task of reallocation of network functions, simulation for research of the proposed method of resources reconfiguration in networks with virtualization. The following **results** are obtained. The article presents a method of virtual network computing resources local reconfiguration in case of a failure or overload. **Conclusions.** Obtained method takes into account the dynamic change in the service network topology, and unlike the existing ones, allows flexible determination of the computing service resources configuration, placing network functions with minimal costs, and decentralized monitoring of quality indicators. The method uses a heuristic model to determine the optimal location for migration of virtualized network functions from a physical node with a failure or overload, and the simulation results in the Mathcad system show an increase in resource efficiency. The conducted studies have shown the expediency of using the proposed solutions in improving existing telecommunication networks and in the construction of new perspective flexible, well-scalable networks of the telecom operator with full or partial application of the network functions virtualization principle.

**Keywords:** NFV, resource allocation, mobile network, reconfiguration, node migration.

V. Hordiichuk<sup>1</sup>, V. Sergienko<sup>2</sup>, A. Mishchenko<sup>3</sup>, A. Shyshatskyi<sup>4</sup>, P. Pozdniakov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Naval Institute of National university "Odesa maritime academy", Odesa, Ukraine,

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

<sup>3</sup> Military Institute of Telecommunications and Informatization the Name of the Heroes of Kruty, Kyiv

<sup>4</sup> Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv

## ANALYSIS OF TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE RADIOELECTRONIC INTELLIGENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

One of the most important characteristics of radiocommunication systems and facilities that operate in the conditions of radio-electronic suppression is their secrecy, which is the ability of systems and radio communications to withstand the actions of radio-intelligence. Radiotechnical intelligence provides consistent execution of three main tasks: the detection of the fact of the operation of the system (devices) of radio communication (signal detection); determination of the structure of the detected signal and its basic parameters; disclosure of the information contained in the signal. Taking into account the Operations of the Joint Forces in the East of Ukraine caused by the armed aggression of the Russian Federation, an urgent question is raised regarding the analysis of the technical characteristics of the radio-electronic intelligence systems for determining the operation of the radiocommunication equipment of the Armed Forces of Ukraine and the structure of the type of signals used. The authors of this article conducted an analysis of the technical characteristics of the radio-electronic intelligence systems of the Russian Armed Forces to determine the operation of the radiocommunication equipment of the Armed Forces of Ukraine and the structure of the type of signals used. During the research, the authors used the basic provisions of the theory of communication, the theory of electronic warfare, the theory of signals and general scientific methods of analysis and synthesis. According to the results of the research, the following conclusions can be drawn: the frequency range of the electronic intelligence facilities of the Russian Armed Forces is much larger than the frequency range of the radiocommunication facilities of the Armed Forces of Ukraine and technically developed countries of the world; classical methods of increasing impedance and secrecy such as pseudo-random reconstruction of the operating frequency is not able to provide a given level of secrecy. In view of this, the direction of further research should be considered the development of scientific and methodical apparatus for increasing the structural secrecy of radio communications based on the use of time-signal structures.

**Keywords:** radio communication systems, radio resources, noise immunity, radio electron suppression, radio-electronic intelligence, secrecy.

### Introduction

The main requirements for the modern military systems and radio communication facilities are [1-5]:

full mobility of all subscribers and elements of the radio communication system;

high efficiency of messages delivery to subscribers;

provision of a given quality of service to users in significant geographic areas in the conditions of use of both conventional and nuclear, biological and chemical weapons, as well as devices of electronic suppressing;

ensuring the continuity of combat management for all conditions of terrain;

high structural stability of the system (durability and reliability);

high bandwidth of communication channels;

high noise immunity of individual radio equipment and radio communication system as a whole.

One of the most important characteristics of systems and radio communication systems that operate in the conditions of radio-electronic suppression is their secrecy.

Under the covert sense of the ability of systems and radio communications to withstand the actions of radio engineering intelligence [1-5].

Radiotechnical intelligence provides the consistent fulfillment of three main tasks: the detection of the fact of the operation of the system (devices) of radio communication (signal detection); determination of the

structure of the detected signal and its basic parameters; disclosure of the information contained in the signal.

In accordance with these tasks one can determine the main types of secrecy: energy, structural, informational, spatial and temporal.

Structural secrecy is aimed at excluding or significantly complicating the disclosure of the structure (sight) of the signals of the system (devices) of radio communication.

Taking into account the operation of the United Nations Operation in the East of Ukraine caused by the armed aggression of the Russian Federation, an urgent issue of the analysis of the technical characteristics of the radio-electronic intelligence systems complexes is determined to determine the operation of the radiocommunication equipment of the Armed Forces of Ukraine and the structure of the signals type that is used.

*The purpose* of this article is to analyze the technical characteristics of the electronic intelligence systems in determining the fact of the work of the radiocommunication facilities of the Armed Forces of Ukraine and the structure (type) of the signals used.

### Presentation of the main material

Complexes of automated radiomonitoring (ARM) nowadays have become widely used as an instrument for solving such a problems as management of the use of radio frequency spectrum and control of electronic environment, including in the course of counter-terrorist

operations. The main tasks of ARM are planned control of the parameters of standard devices and measurement of unintentional levels of obstacles, detection of unlicensed transmitters and determination of their location, measurement of energy coverage zones in assessing the quality of radio communications, determining the intensity of use of radio frequency resource.

ARM tools also solve information security tasks and serve as the basis for technical measures to counteract unauthorized removal of information, including special studies on side electromagnetic radiation and imprints.

Mobile automated systems of radioengineering and special monitoring of the effectiveness of information security and assessment of the electromagnetic environment of the MKTK-1 and MKTK-1A are designed to detect, measure parameters and determine the location of radio electronic equipment, assess the electromagnetic environment, detect and close the technical channels of information leakage.

**The mobile automated complex of radioengineering and special control of information security efficiency MKTK-1A** is intended for (Fig. 1, a) [6, 7]:

- operational control of operating modes and technical analysis of signals, placement and location of radio electronic equipment;

- control of the fulfillment of norms (requirements) for counteraction to radio and radio intelligence of foreign states;

- analysis and evaluation of the electromagnetic environment;

- control of radiation parameters of radio transmitters;

- search for the sources of unintentional radio interference;

- search for the special electronic devices for interception of information;

- detection of technical channels of information leakage due to side electromagnetic radiation and impulses, insufficient sound and vibration isolation;

- assessing the protection of objects from information leakage through technical channels;

- control of the protection of objects in the infrared and visible bands of electromagnetic waves;

- operational protection of information from leakage on vibroacoustic and radio channels.

The complex includes: automated workplace of radio control (AWP-RC); Workplace of special control with a complete set of remote equipment (WP-SP); communication equipment, power supply and life support.

Tactical and technical characteristics of MKTK-1A are given in the table 1.



**Fig. 1.** Appearance of: a – MKTK-1A; b – the multifunctional complex of radio-electronic suppression of the RB-531BE; c – the mobile automated complex of radio inquiries and radio suppression (Leer-2)

**Table 1 – Tactical and technical characteristics of MKTK-1A**

Frequency range of radiocontrol, MHz	0,1-18000
Accuracy of inclination, deg	2-3
Frequency range of side electromagnetic radiation control, MHz	0,01-20000
Frequency range of acoustic and vibration acoustic control, Hz	10-20000
Frequency range of detection of special electronic devices for intercepting information from radiosignals, MHz	0,1-10000
Range of communication with the use of a mobile radio station, km	≤ than 20
The range of communication with the use of a portable radio station is not more than, km	5
Time of deployment/collapse, min	30

**Small-sized multifunctional systems of radio control, positioning and suppression RP-377L and**

**RP-377LA “Lorandit-AD”.** Small, multifunctional radio control complexes, positioning and suppression.

RP-377L and RP-377LA “Lorandit” provide operative search, location and radio decay of radio-electronic devices of UHF radio communications of illegal armed groups, terrorist groups and interference sources for control and communication systems (fig. 2).

The RP-377L complex is located in two cases and four canvas bags for transferring combat personnel from two to three people and can be used both in field conditions and in conditions of medium and strongly rough terrain (fig. 2). Complex RP-377LA “Lorandit” is located on a high-capacity car (the type of car is determined by the requirements of the customer) and can be applied in field conditions and conditions of medium-sized terrain [6, 7].

Depending on the tasks solved complexes can be combined into a system of two or more complexes RP-377L and RP-377LA “Lorandit”, one of which acts as a point of control system. Technical characteristics of the complexes are shown in the table 2.

The multifunctional complex of radio-electronic suppression of the RB-531BE is designed (fig. 1, b):

- for protection against radio-controlled mines and explosives, in a parking lot and in motion by devices of setting up broadband barriers to reception devices;



Fig. 2. Appearance of RP-377L

Table 2 – Technical characteristics of the complexes RP-377L and RP-377LA “Lorandit”

Basic tactical and technical characteristics	RP-377L	RP-377LA
Frequency range, MHz:		
detection	20... 2000	20... 2000
positioning	25... 2000	25... 2000
Detection Speed, MHz/sec	no less 10	65
Detection speed with downlink, MHz/s	no less 3,5	25
Median rotation error is not more than, deg	3	3
Band of simultaneous review, kHz	180	1200
The range of operating frequencies created by intentional interference, MHz	137... 174, 410...470	100... 500
Power transmitter of intended interference, not less, W	20...40	100
Closing time, min	no more than 10	10

- radio-electronic intelligence, radio-telegraphy and interference with radio communication equipment (including cellular communication), which operate on fixed frequencies and in the FHSS mode on the parking lot and in motion.

The equipment of radio intrusion and radio suppression of the complex RB-531BE provides:

- detecting, radio-directing and suppressing sighting of the devices of UHF-radio communication, working with the FHSS with the reconstruction of the operating frequency speed of the 300 jump/second;
- detecting, radio-directing and radio-suppressing by noise-blocking frequency-modulated interference with UHF radio-communication devices operating with a FHSS with a speed up to 1,000 jumps per second;
- binding, technical analysis and auditory control of UHF radio communication in motion and in the parking lot;
- classification of signals of radio frequencies operating at fixed frequencies, with a probability of not less than 0.9 in the case of signal / noise ratio of 15 dB (in the frequency band of the signal).

Mobile automated radio-detecting and radio-suppressing complex (Leer-2) (Fig. 1, c).

The complex is intended for estimation of the electromagnetic environment, the radio information exploration of radio emission sources, and the obstruction of radio electronic devices.

Table 3 – Specifications of the REI PB-531BE subsystem

Name of characteristic	The value of the characteristic
Frequency range, MHz:	
detection	20... 2000
positioning	25... 2000
The medium-square error of positioning of radio communication devices in a parking lot with the developed AMY product, deg	5
Mean-square instrumental error of beaming of radio communication devices in motion with AMY made product, deg	10
Two-signal dynamic range, dB, not less	60
Frequency band review rate in the “Analysis RES” mode:	
when it is found without placement, not less, MHz/sec	8 000
when it is located with the downlink, not less, MHz/sec	5 000



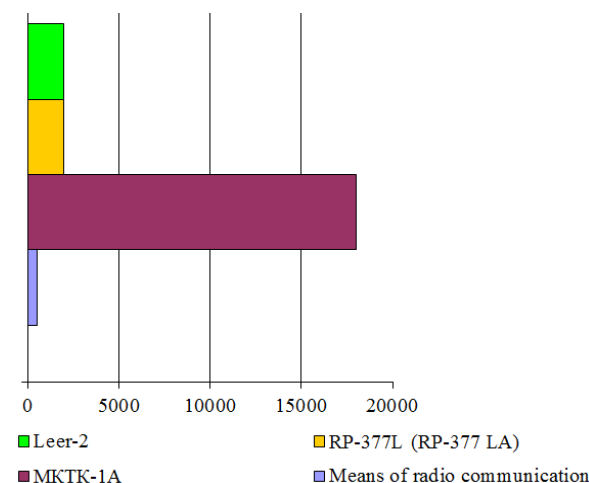
Features of the complex:

- detection of sources of radio emission and determination of their location with anchoring to the digital terrain maps;
- setting of radio interruptions by various types of radio-electronic devices (including mobile communication systems);
- simulating the work of radio electronic devices.
- possibility of quasi-simultaneous suppression of 12 sources of radio emission;
- the possibility of continuous conducting of radio intrusion and radio suppression on the parking lot and in motion.

The main nomenclature of existing radio communication equipment of the UHF range of the Armed Forces of Ukraine and technically developed countries of the world have the following technical characteristics:

- frequency range – 30-512 MHz;
- power transmitter – 2-50 W;
- sensitivity of the receiver at the level – 110dB;
- signal type:  $M$ -position phase and  $M$ -position frequency manipulation.

From the fig. 3 it becomes evident that the devices of electronic intelligence of the Armed Forces of RF are capable of fully controlling the working range of frequencies of radio communications of the Armed Forces of Ukraine.



**Fig. 3.** Comparative analysis of the working range of radio frequencies of the Ukrainian Armed Forces and the technical capabilities of electronic intelligence

### Conclusion from the article

In this article, the authors of the research conducted a comparative analysis of the technical characteristics of the electronic intelligence of the Armed Forces of the Russian Federation.

According to the results of the research, the following conclusions can be drawn:

1. Devices of electronic intelligence of the Armed Forces of the Russian Federation have the capability of full control of the radio lines and are capable of:

detecting information exchange between radio communication devices, determining the set of radio frequencies, frequency detection of a signal and disclosure of its structure;

calculation of interrelationship functions and memorization of time positions of information signals and metadata that accompany them for further suppression of the radio link or influence on the information flow;

decoding the received stream, set of statistics and analysis of encrypted messages;

familiarity with the content of messages transmitted over the radio;

simulation of signals transmitted in radio lines.

2. The frequency range of electronic intelligence facilities of the Armed Forces of the Russian Federation is considerably higher than the frequency range of the radiocommunication facilities of the Armed Forces of Ukraine and technically developed countries of the world.

3. The classic methods of increasing noise immunity and secrecy such as pseudo-random processing of the operating frequency are not able to provide a given level of secrecy.

4. Increased secrecy of radio communications of the Armed Forces of Ukraine may be achieved through organizational measures such as work with the minimum transmitter power, use of encryption tools (hardware and software); use of direct spectrum expansion technology.

5. Analysis of the literature shows that the general disadvantage of broadband systems is the use of signals with a regular structure, which makes it easy to detect them, to reveal the structure and to arrange an obstacle.

6. Since the question of shifting the working range of communication frequencies that are out of range of electronic warfare devices at this time is not due to the complexity of its implementation, it is necessary to find ways to increase the energy secrecy of signals by devices of electronic intelligence and increase the cryptosecurity of messages [8, 9].

This issue will partially solve the use of timer signal constructions.

Taking into account the above, the direction of further research should be considered the development of scientific and methodical apparatus for increasing the structural secrecy of radio communication facilities based on the use of timer signal structures.

### REFERENCES

1. Shyshatskiy, A.V., Bashkirov, O.M. and Kostina, O.M (2015). "Development of integrated systems and data for Armed Forces", Arms and military equipment, No 1(5), pp. 35-40. available at: <http://journals.urau.ua/index.php/2414-0651/issue/view/1%285%29%202015> (last accessed november 25, 2018).
2. Minochkin, A. I. and Kuvshynov, O. V(2014). "Directions of increase of noise immunity of military systems and means of radio communication". Materials of VII-th scientific-technical conferences MITI SYT "Priority areas for the development of telecommunication systems and special purpose networks". pp. 29-33.
3. Kuvshynov, O. V(2009). "Adaptive management of devices of protection against military radio systems" Collection of scientific works MIKNY. No. 17. pp.125–130.

4. Zhuk, O.G., Shyshatskiy, A.V., Zhuk, P.V. and Zhyvotovskiy, R.M (2017). "Methodological substances of management of the radio-resource managing systems of military radio communication", Information Processing Systems, Vol. 5(151), pp. 16-25. <https://doi.org/10.30748/soi.2017.151.02>.
5. Kuvshinov, O.V., Shyshatskiy, A.V., Lyutov, V.V and Zhuk, O.G(2017). "Analysis of ways for increasing the secrecy of broadband radiocommunication systems " Scientific works of Kharkiv National University of Air Forces, No. 1(50), pp. 24-28.
6. Popov, A.O., Tverdokhlibov, V.V(2014). " General tendencies of development of means of electronic warfare " Arms and military equipment, No. 4 (4), pp. 4-10.
7. Serhiienko, V.D., Popov, A.O., Zibin, S.D., Bychkov, A.N., Pidhorodetskiy, M.M (2017). "Analysis of the state of the art of multifunctional electronic warfare means and complexes." Modern Information Technologies In the sphere of security and defence, No.1(28), pp.135-143.
8. Zakharchenko, M.V., Gorokhov, S.M., Kochetkov, O.V., Hordiichuk V.V.and Shamshidin, E. B(2017). "Comparison of ensembles of code sets synthesized on the basis of several modules with ensembles realized on the basis of timer signal constructions", Information processing systems, No. 1(147), pp. 18-21. <https://doi.org/10.30748/soi.2017.147.04>.
9. Zakharchenko, M.V, Gorokhov, S.M., Kochetkov, O.V. and Hordiichuk V.V(2016). "Comparison of positional and timer coding", Collection of scientific works MITI, No 1, pp.59-63.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г. В. Худов,

Український державний університет залізничного транспорту, Харків

Надійшла (received) 08.11.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 23.01.2019

### **Аналіз технічних характеристик засобів радіоелектронної розвідки Російської Федерації**

В. В. Гордійчук, В. Д. Сергієнко, А. О. Міщенко, А. В. Шишацький, П. В. Поздняков

Однією з важливих характеристик систем і засобів радіозв'язку, які функціонують в умовах радіоелектронного подавлення є їх скритність, що є здатністю систем і засобів радіозв'язку протистояти дії засобам радіотехнічної розвідки. Радіотехнічна розвідка передбачає послідовне виконання трьох основних задач: виявлення факту роботи системи (засобу) радіозв'язку (виявлення сигналу); визначення структури виявленого сигналу і його основних параметрів; розкриття інформації, яка міститься в сигналі. Враховуючи проведення Операції об'єднаних Сил на Сході України, що викликана збройною агресією РФ постає актуальне питання щодо аналізу технічних характеристик комплексів радіоелектронної розвідки щодо визначення факту роботи засобів радіозв'язку ЗС України та структури (виду) сигналів, що використовується. Авторами зазначеної статті проведений аналіз технічних характеристик комплексів радіоелектронної розвідки збройних сил Російської Федерації щодо визначення факту роботи засобів радіозв'язку ЗС України та структури (виду) сигналів, що використовується. В ході дослідження авторами були використані основні положення теорії зв'язку, теорії радіоелектронної боротьби, теорії сигналів та загальнонаукові методи аналізу та синтезу. За результатами проведеного дослідження можна зробити наступні висновки: діапазон частот засобів радіоелектронної розвідки Збройних Сил Російської Федерації є значно більшим за діапазон частот засобів радіозв'язку Збройних Сил України та технічно розвинених країн світу; класичні методи підвищення заводо захищеності та скритності такі як псевдовипадкова перестройка робочої частоти не зможе забезпечити заданого рівня скритності. Враховуючи зазначене, напрямком подальших досліджень слід вважати розробку науково-методичного апарату підвищення структурної скритності засобів радіозв'язку на основі використання таймерних сигнальних конструкцій.

**Ключові слова:** системи радіозв'язку, радіоресурс, заводо захищеність, радіоелектронне подавлення, радіоелектронна розвідка, скритність.

### **Анализ технических характеристик средств радиоэлектронной разведки Российской Федерации**

В. В. Гордейчук, В. Д. Сергиенко, А. О. Мищенко, А. В. Шишацкий, П. В. Поздняков

Одной из важных характеристик систем и средств радиосвязи, которые функционируют в условиях радиоэлектронного подавления есть их скрытность, которая есть свойством систем и средств радиосвязи противостоят действию средств радиотехнической разведки. Радиотехническая разведка предусматривает последовательное выполнение трёх основных задач: обнаружение факта работы системы (средства) радиосвязи (обнаружение сигнала); определение структуры обнаруженного сигнала и его основных параметров; вскрытие информации, которая содержится в сигнале. Учитывая проведение Операции объединённых Сил на Востоке Украины, которая вызвана вооруженной агрессией РФ становится актуальным вопрос анализа технических характеристик комплексов радиоэлектронной разведки относительно определение факта работы средств радиосвязи ВС Украины и структуры (вида) сигналов, которые используются. Авторами данной статьи проведён анализ технических характеристик комплексов радиоэлектронной разведки вооружённых сил Российской Федерации по выявлению факта работы средств радиосвязи ВС Украины и структуры (вида) сигналов, которые используются. В ходе исследования авторами были использованы основные положения теории связи, теории радиоэлектронной борьбы, теории сигналов и общенаучные методы анализа и синтеза. По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы: диапазон частот средств радиоэлектронной разведки вооружённых сил Российской Федерации есть значительно большим чем диапазон частот средств радиосвязи Вооружённых Сил Украины и технически развитых стран мира; классические методы повышения помехозащищённости и скрытности такие как псевдослучайная перестройка рабочей частоты не в состоянии обеспечить заданного уровня скрытности. Учитывая данное, направлением дальнейших исследованием следует считать разработку научно-методического аппарата повышения структурной скрытности средств радиосвязи на основе использования таймерных сигнальных конструкций.

**Ключевые слова:** системы радиосвязи, радио ресурс, помехозащищенность, радиоэлектронное подавление, радиоэлектронная разведка, скритність.

Князєв О. А.

Одеська національна академія зв'язку імені О. С. Попова, Одеса, Україна

## ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ КОМПЛЕКСНИХ СИСТЕМ ФІЛЬТРАЦІЇ КОНТЕНТУ

У роботі доведено, що інформаційні ризики, а саме кіберпреступність, відносяться до основних проблем сучасного цифрового простору. Одним із проявів кіберзагроз є присутність небажаного або недозволеного контенту в мережі Інтернет, що призводить до втрат соціального, економічного, технологічного й особистісного характеру. Це, у свою чергу, призводить до зниження продуктивності праці бізнес-одиниць, зниженню ділової активності, проблемам у приватних осіб через збільшення витрат на подолання наслідків кіберпреступності. Для запобігання цих втрат необхідно розробляти й впроваджувати комплексні системи фільтрації контенту (КСФК). Тому мета роботи пов'язана з розробкою підходів до оцінки результативності впровадження КСФК. Фільтрація небажаного контенту дозволяє одержувати не тільки технологічний результат. Обмеження доступу до шкідливих ресурсів призведе до виникнення й інших видів результативності. У роботі доведено, що впровадження КСФК призведе до виникнення фінансово-економічної, ресурсної, соціальної, екологічної, поліхромної та технічної результативності. Наведено аналіз показників результативності, яка виникає на різних рівнях – для населення, підприємств і держави в цілому. Одержала подальший розвиток існуюча система індикаторів оцінки технологічної результативності впровадження КСФК шляхом додавання показників вартості та рівня адаптивності (гнучкості). Показано векторну спрямованість існуючих і пропонує індикаторів. Представлено підхід до визначення запропонованих індикаторів оцінки результативності впровадження КСФК і наведений приклад розрахунку комплексного показника результативності. Висловлено припущення, що в результаті впровадження КСФК можлива поява синергетичного ефекту, що полягає в зростанні сукупного результату за рахунок загальної дії всіх елементів системи, що в підсумку приводить до збільшення якісних характеристик функціонування КСФК без збільшення кількісних.

**Ключові слова:** комплексна система фільтрації контенту, результативність, впровадження, вартість, адаптивність.

### Вступ

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Сучасному суспільству, яке стоїть на шляху формування глобального інформаційного середовища, притаманні різні ризики, які характерні для цифрового світу. Серед першорядних, поряд економічними та екологічними, можна визначити інформаційні ризики, а саме ризики, які пов'язані з кіберзлочинністю. Наявність цих ризиків турбує суспільство в цілому, представників влади та бізнес-середовища, приватних користувачів. В Законі України «Про Стратегію кібербезпеки України» визначається, що «сучасні інформаційно-комунікаційні технології можуть використовуватися для здійснення терористичних актів, зокрема шляхом порушення штатних режимів роботи автоматизованих систем керування технологічними процесами на об'єктах інфраструктури» [1].

Одним з проявів кіберзагроз є наявність небажаного та/чи несанкціонованого контенту в мережі Інтернет. Користувачі мережі Інтернет постійно стикаються з такими загрозами як віруси та інші шкідливі об'єкти, мережеві атаки, перехоплення паролів і фітінг, витік важливого контенту, кіберпереслідування тощо. Ці та інші прояви призводять до різних за масштабами втрат соціального, економічного, технологічного, особистісного характеру. Це, в свою чергу, спричиняє скорочення ефективності діяльності суб'єктів економічної діяльності та приватних осіб за рахунок збільшення витрат на подолання наслідків кіберзлочинності. Одним з технологічних рішень проблеми кіберзлочинності є використання технологій фільтрації контенту в мережі Інтернет. Виходячи з вищезначеного, виникає нове науково-прикладне завдання, пов'язане із визначен-

ням результативності впровадження комплексних систем фільтрації контенту (КСФК) та застосування КСФК в мережі Інтернет. Наявність цього завдання обумовлює актуальність тематики статті.

**Аналіз останніх досліджень.** Питання обґрунтування та оцінки результативності реалізації методів фільтрації небажаного контенту в мережі Інтернет є недостатньо вирішеними виходячи з відносної новизни визначеної проблематики. Так, до наукових доробок з цього питання можна віднести праці С. Вахоніна, В. Каптура, В. Шевченка та інших [2–5]. В цих працях сформовано наукове бачення та прикладні підходи щодо ефективності застосування контентної фільтрації та ефективної оцінки універсального ідентифікатору ресурсу (Universal Resource Identifier, URI) в комплексних системах фільтрації контенту, зокрема, з точки зору національної безпеки. Також ці наукові розробки дозволяють стверджувати, що ефективність систем фільтрації контенту та самого процесу фільтрації в цілому залежить не тільки від якості методів, що застосовуються, а й від якості й повноти функціональних можливостей контролю по контекстних параметрах з точки зору можливості перехоплювати, блокувати й протоколювати передачу даних на рівні протоколів, портів і пристроїв, які логічно передують контентному аналізу, тобто від якості й ефективності архітектури системи [2].

Визначимо, що ефективність має на увазі відношення отриманих результатів до витрат, а результативність свідчить про ступень реалізації чи досягнення очікуваних результатів. У нашому випадку (в процесі впровадження КСФК) мова йде не лише про економічні результати, а про технічні, соціальні аспекти, питання безпеки та захисту, тому предметом дослідження є саме результативність впровадження КСФК.

Недостатня вирішеність питань, присвячених формуванню методів та підходів щодо оцінки результативності впровадження КСФК, визначає мету роботи, пов'язану із розробкою відповідних підходів.

### Виклад основного матеріалу дослідження

В сучасному суспільстві при оцінці результативності будь-яких процесів не достатньо лише економічних показників, оскільки соціальна спрямованість техніко-економічних процесів призводить до необхідності задоволення вимог споживачів та дотримання принципів соціальної відповідальності бізнесу. Тому виникають категорії соціально-економічного, технологічного, ресурсного та інших результатів. Ці категорії безпосередньо стосуються й процесів фільтрації контенту, оскільки в процесі фільтрації кінцевий споживач отримує низку різних видів результату. При цьому ці результати виникають на різних рівнях, а саме на рівні держави, підприємств та приватних споживачів.

Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) проводить щорічний моніторинг та формує Звіт «Глобальний індекс кібербезпеки та профілі щодо кібербезпеки (ГІК)», в якому визначає Глобальний індекс кібербезпеки кожної країни за групами показників – законодавчих, технічних, організаційних, соціальних та міжнародних. За цією системою оцінки Україна посідає 59 місце з ГІК, що дорівнює 0,501 [6]. Виходячи з показників, які урахуються при формуванні ГІК, можна стверджувати, що існує необхідність визначення не лише результату від заходів щодо забезпечення кібербезпеки без посеред-

ньо, а й результативності реалізації окремих складових показника ГІК, а саме від впровадження КСФК. Спираючись на склад показників ГІК, впровадження КСФК та позитивний результат від цього здатні забезпечити нарощування потенціалу кібербезпеки за групою технічних показників та сприяти розвитку інших складових оцінки ГІК.

Дослідження науковців свідчать, що фільтрація небажаного контенту дозволяє отримати не лише суто технологічні результати у вигляді затримки забороненої інформації та/чи доступу до шкідливих інформаційних ресурсів [2, 3]. Обмеження доступу до шкідливих ресурсів сприяє появі і інших результатів. Так, використання засобів захисту інформації на транспорті збільшує його пропускну спроможність завдяки обмеженню ризиків потрапляння небезпечного чи шкідливого програмного продукту в систему управління логістикою. У сільському господарстві оснащення засобами зв'язку машинного парку і польових бригад знижує нецільові втрати робочого часу та простої на 20...40%. Якісно організований зв'язок у системі управління будівництвом дозволяє підвищити продуктивність праці не менше ніж на 15% [7].

В даній роботі визначено, що в процесі впровадження різних проектів в сфері інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), зокрема фільтрації контенту, виникають різні прояви результативності цього процесу. Ураховуючи, що метою впровадження КСФК є запобігання шкоди від потрапляння небажаного контенту в сфері ІКТ, а також в усіх сферах життєдіяльності суспільства, визначено, що результативність впровадження КСФК складається із складових, які систематизовано та наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Складові результативності впровадження КСФК на різних рівнях запровадження

Результативність	Змістове наповнення	Рівень виникнення		
		Населення	Підприємства	Держава
Фінансово-економічна	Враховує усі можливості максимізації результатів та мінімізації витрат, які можуть виникати в результаті впровадження КСФК	Скорочення витрат на придбання різних систем КСФК	Скорочення витрат часу на обробку інформації, зростання продуктивності праці, покращення фінансових показників за рахунок економії	Сталий розвиток держави за рахунок підвищення ефективності діяльності економічних агентів
Ресурсна	Показує вплив фільтрації інформаційного ресурсу на обсяг виробництва і споживання того або іншого виду ресурсу	Більш ефективне використання інформаційних ресурсів у побуті, скорочення витрат домогосподарств на енергоносії	Оптимізація власної ресурсної бази (технологічної, кадрової, інформаційної та фінансової), більш ефективне використання ресурсів	Зростання ефективності використання внутрішніх інформаційних ресурсів, підвищення інвестиційної привабливості країни за рахунок прозорості та захищеності інформації
Соціально-екологічна	Враховує нові соціальні та екологічні результати реалізації проекту	Соціальний захист громадян, захист дитини в Інтернет-середовищі, зростання довіри населення до влади	Підвищення іміджу підприємства, розвиток соціальної відповідальності бізнесу, скорочення паперового документообігу	Створення умов для розвитку соціальної відповідальності бізнесу, соціального захисту громадян, довіри населення до влади, скорочення електромагнітного випромінювання
Поліхромна	Показує економію часу, що виникає при одночасному використанні різних методів фільтрації контенту	Скорочення часу на пошуки оптимальної системи захисту інформації та системи фільтрації контенту	Економія та оптимізація робочого часу, можливість перерозподілу робочого часу	Прискорення НТП та інноваційного розвитку держави за рахунок оптимізації мережевих ресурсів
Технічна	Поява технічних можливостей щодо процесу фільтрації контенту: точність блокування, надійність (рівень захисту від обходу), живучість	Підвищення комп'ютерної грамотності населення, зростання освіченості громадян щодо ІКТ, точність блокування небажаного контенту	Відповідність технологій вимогам НТП та ринку, відповідність світовим стандартам, захист від обходу фільтрів, живучість	Відповідність світовим стандартам, забезпечення інформаційної безпеки держави, геополітичний чинник

Безумовно, фінансово-економічна, ресурсна та інші види результативності впровадження КСФК мають велике значення для процесів впровадження та подальшої діяльності КСФК. Але в даній роботі увагу зосереджено на технічній результативності, оскільки цей напрямок є об'єктом наукового інтересу автора. Так, у попередніх дослідженнях [8], встановлено, що окрім суто технологічних питань конфігурації КСФК, виникає завдання формування системи показників оцінки результативності роботи КСФК. Базуючись на працях [3, 8, 9], автором систематизовано перелік ключових показників для оцінки результативності впровадження КСФК. До таких віднесено:

- додаткова затримка, що виникає як наслідок наявності значної кількості елементів КСФК та великих обсягів трафіку, яка потребує заходів щодо скорочення;

- точність блокування, яка визначається здатністю КСФК блокувати ресурс, який найбільш повно відповідає заданим критеріям блокування, залишаючи при цьому споживачу можливість доступу до інших ресурсів, тобто не наносячи шкоди іншим доступним ресурсам та правам споживачів на вільний доступ до мережі;

- надійність, яка у даному контексті визначається рівнем захищеності від можливостей обходу та може бути забезпечена різним за складністю програмним забезпеченням, спрямованим на моніторинг трафіку;

- живучість, тобто здатність КСФК до збереження своїх основних функцій (із можливістю втрат якості) в несприятливих впливах із ймовірністю повної відмови доступу в Інтернет для користувачів у

випадках, коли доступ до небажаного контенту має більш шкідливі наслідки, ніж повна заборона контенту (наприклад, у випадках необхідності забезпечення безпеки дитини у мережі).

Ці показники, які вже частково досліджені у [8], на нашу думку, потребують доопрацювання шляхом їх доповнення наступними показниками:

- вартість впровадження КСФК (що відповідає Рекомендаціям МСЕ до мереж майбутнього [10]), яка може бути визначена шляхом порівняння вартості існуючих систем захисту з пропонованими КСФК (вартість останніх розраховується шляхом прямої калькуляції витрат на розробку, реалізацію та впровадження КСФК);

- рівень адаптивності (гнучкості) КСФК, який може бути визначено через частку змін, які необхідно здійснити в усіх елементах системи задля адаптації системи до нових вимог.

Розглянемо векторну спрямованість існуючих та запропонованих в даній роботі показників оцінки результативності впровадження КСФК, а також одиниці їх виміру (табл. 2). Як випливає з табл. 2, показники, які є складовими системи оцінки результативності впровадження КСФК, мають різну спрямованість (тобто прагнуть до максимізації чи до мінімізації). Тому виникає необхідність приведення різних показників до вигляду, що надає можливість формування комплексного показника результативності впровадження КСФК. Це можна здійснити шляхом формування однакових (наприклад, відсоткових, що прагнуть до максимізації) вимірів результату. Тому запропоновано наступний підхід до розрахунку визначених показників оцінки результативності впровадження КСФК.

Таблиця 2 – Векторна спрямованість показників результативності впровадження КСФК

Показники	Сутність, одиниця виміру	Векторна спрямованість
Додаткова затримка	час затримки у випадку перевантаження, секунди	min
Точність блокування	частка вірно заблокованих ресурсів, % або частка одиниці	max
Надійність	частка випадків захисту від обходу КСФК, % або частка одиниці	max
Живучість	ймовірність збереження функцій, % або частка одиниці	max
Вартість	відповідно до кошторису, грн.	min
Рівень адаптивності	частка необхідних змін системи, % або частка одиниці	min

1. Додаткова затримка (*Additional delay, AD*) розраховується як відношення існуючої затримки, яка розраховується для кожного конкретного  $i$ -го випадку виявлення небажаного контенту ( $AD_i$ ), до середньої ( $AD_{av}$ ) у даному класі задач (з точки зору використання чорних або білих списків):

$$AD = AD_i / AD_{av} . \quad (1)$$

У даному випадку оптимальна додаткова затримка прагне до мінімуму. Оскільки, за визначених вище умов максимізації результатів, показники прагнуть до максимізації, формулу (1) необхідно відкоригувати наступним чином (2):

$$AD^{cor} = 1 - AD_i / AD_{av} . \quad (2)$$

2. Точність блокування (*Accuracy of blocking, AB*) визначається прямим розрахунком частки вірно заблокованих ресурсів за певний термін часу ( $AB$ ).

3. Надійність (*Reliability, R*), або відсоток (частка) випадків захисту від обходу КСФК ( $R$ ), також визначається прямим розрахунком частки випадків захисту від обходу систем фільтрації, що прагне до максимуму з точки зору забезпечення надійності роботи КСФК.

4. Живучість (*Survivability, S*), відбиває ймовірність збереження функцій КСФК у несприятливих умовах, або відсоток (частка) вірно заблокованих ресурсів у певний термін часу.

5. Вартість (*Cost, C*) визначається через відношення кошторису на розробку та впровадження нової КСФК ( $C_{newsystem}$ ) до вартості існуючої системи ( $C_{existing}$ ) (3):

$$C = C_{newsystem} / C_{existing} . \quad (3)$$

Слід уточнити, що ураховуючи існуючі інфляційні процеси, доцільно проводити розрахунок кош-

торисів з урахуванням дисконту, тобто чинників, що впливають на вартість грошових потоків у часі. Тоді формула розрахунку вартості (3) із урахуванням дисконту ( $Cd$ ) матиме такий вигляд (4):

$$Cd = \sum_{t=1}^n \left( C_{newsystem} / (1+r)^{t-1} \right) / C_{existing} \quad (4)$$

де  $r$  – річна ставка дисконту, яка визначається на основі урахування дисконт-факторів (рівень інфляції, ставка рефінансування Національного банку України, рівень ризику тощо);  $t$  – порядковий номер кожного року, за яким відбувається розрахунок;  $n$  – кількість перспективних періодів (років), за які проводиться розрахунок.

Для забезпечення максимізації показника вартості формула (4) набуває вигляду (5):

$$Cd^{cor} = 1 - \sum_{t=1}^n \left( C_{newsystem} / (1+r)^{t-1} \right) / C_{existing} \quad (5)$$

6. Рівень адаптивності (*Adaptability level, AL<sup>cor</sup>*), тобто частка необхідних змін системи, яких потребує процес оновлення КСФК під нові вимоги (поява нових загор). Визначається розрахунком частки еле-

ментів системи ( $AL$ ), які потребують модифікації (6):

$$AL^{cor} = 1 - AL \quad (6)$$

Ураховуючи наявність низки показників оцінки результативності впровадження КСФК, виникає потреба у формуванні комплексного показника результативності (*Complex Indicator of Productivity, CIP*). Це можливо здійснити за допомогою введення для кожного показника його вагового значення (з дотриманням умов нормування щодо вагових значень показників). Цей показник розраховуватиметься за формулою (7):

$$CIP = \sum_{i=1}^m I_i W_i \quad (7)$$

де  $I_i$  –  $i$ -й показник оцінки результативності впровадження КСФК;  $W_i$  – вагове значення  $i$ -го показника, яке може встановлюватися, наприклад, методом експертних оцінок із урахуванням умови:  $\sum_{i=1}^m W_i = 1$ ;  $m$  – кількість показників в системі оцінки (у даному випадку  $m = 6$ ).

В якості прикладу наведемо розрахунок комплексного показника результативності впровадження КСФК (табл. 3).

Таблиця 3 – Розрахунок комплексного показника результативності впровадження КСФК

Показник	Розрахункове значення	Вагове значення	Значення із урахуванням ваги
Додаткова затримка, $AD^{cor}$	0,85	0,05	0,0425
Точність блокування, $AB$	0,8	0,4	0,32
Надійність, $R$	0,6	0,2	0,12
Живучість, $S$	0,75	0,2	0,15
Вартість, $Cd^{cor}$	0,65	0,1	0,065
Рівень адаптивності, $AL^{cor}$	0,9	0,05	0,045
Комплексний показник, $CIP$			0,7425

Отриманий показник  $CIP$  повинен прагнути 1, тобто  $CIP \rightarrow 1$ . Оскільки максимальне значення показника ( $CIP = 1$ ) отримати практично неможливо, необхідно встановити шкалу, за допомогою якої можна зробити висновок про достатність отриманих результатів з точки зору доцільності впровадження КСФК. Оскільки для розрахунку  $CIP$  використовувалися стандартні підходи із використанням відсоткових значень (або часток), доцільно спиратися на вже існуючі наукові розробки [11], в межах яких визначається критичне (мінімально-припустиме) значення, що дорівнює 0,5. Тобто вважається, що система працює результативно, якщо вона затримує не менш половини небажаного контенту. Результати, які мають значення менше мінімально-припустимого, свідчать про недостатню результативність впровадження КСФК. Пропонуємо таку шкалу інтерпретації результатів розрахунку  $CIP$  КСФК (рис. 1).

Відповідно до наведеної шкали, отримана оцінка  $CIP$  КСФК на рівні 0,7425 знаходиться на межі з задовільною. Покращення результативності функціонування потребує перш за все рівень адаптивності системи (на підставі аналізу останнього стовпця табл. 3). Крім того, отримані результати можуть бути візуалізовані у вигляді пелюсткової діаграми, на якій наочно видно, які складові системи оцінки потребують вдосконалення (рис. 2). З рис. 2 також видно, що саме рівень адаптивності системи потребує вдосконалення.

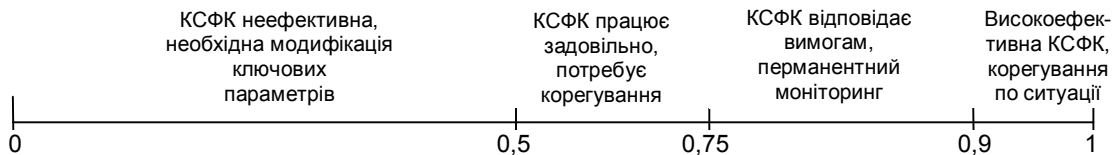


Рис. 1. Шкала інтерпретації результатів розрахунку  $CIP$  КСФК (сформовано шляхом опрацювання [11])

Відповідно до наведеної шкали, отримана оцінка  $CIP$  КСФК на рівні 0,7425 знаходиться на межі з задовільною. Покращення результативності функціонування потребує перш за все рівень адаптивності системи (на підставі аналізу останнього стовпця табл. 3). Крім того, отримані результати можуть бути візуалізовані у вигляді пелюсткової діаграми, на якій наочно видно, які складові системи оцінки потребують вдосконалення (рис. 2). З рис. 2 також видно, що саме рівень адаптивності системи потребує вдосконалення.

Відповідно до наведеної шкали, отримана оцінка  $CIP$  КСФК на рівні 0,7425 знаходиться на межі з задовільною. Покращення результативності функціонування потребує перш за все рівень адаптивності системи (на підставі аналізу останнього стовпця табл. 3). Крім того, отримані результати можуть бути візуалізовані у вигляді пелюсткової діаграми, на якій наочно видно, які складові системи оцінки потребують вдосконалення (рис. 2). З рис. 2 також видно, що саме рівень адаптивності системи потребує вдосконалення.

Зазначимо, що результативність впровадження КСФК може мати вторинні наслідки у вигляді покращення умов праці та запобігання потрапляння шкідливих програм до користувачів, що призводить до підвищення продуктивності праці, що, в свою чергу, може призвести до додаткових надходжень до бюджету та зростанні ВВП (на макрорівні).

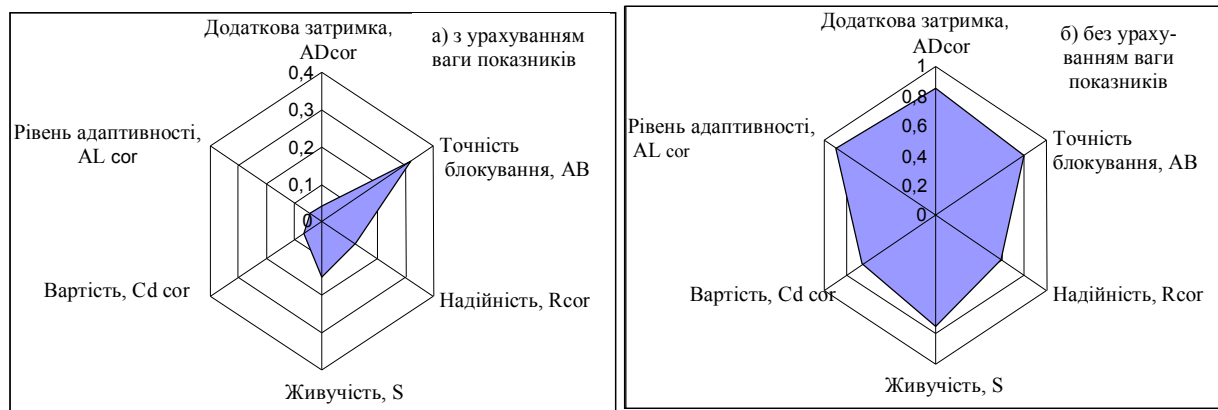


Рис. 2. Складові системи оцінки СІР КСФК (з урахуванням (а) та без урахування (б) ваги показників)

Все це призводить до росту чистого продукту (національного доходу) і, як результат, до загально-го підвищення макроекономічної ефективності. Так, прискорення процесу фільтрації контенту збільшує швидкість технологічних та бізнес-процесів (зростає технологічна результативність).

Зростання ступеня адаптивності призводить до скорочення часу на модернізацію КСФК, призводячи до підвищення економічної результативності. Зростання ступеню захищеності дитини в мережі сприяє зростанню соціальної результативності і, як наслідок, призводить до виникнення іміджевого ефекту у вигляді зростання ступеню довіри населення до держави та організацій, що сприяють захисту громадян. Тобто можна говорити про наявність синергетичного ефекту від впровадження КСФК, який полягає у зростанні загальної результативності за рахунок спільної дії всіх елементів системи, що призводить до збільшення якісних показників функціонування КСФК без збільшення кількісних.

До найбільш значущих чинників утворення синергетичного ефекту слід віднести такі:

1. Оптимізація витрат виникає за рахунок реалізації саме комплексної системи, яка містить у собі низку заходів задля запобігання різним атакам, тобто виключає витрати на впровадження декількох систем фільтрації.

2. Підвищення задоволеності споживачів, що призводить до зростання обсягів споживання послуг (економічна складова) та захищеності населення та бізнесу від мережевих атак (соціальна складова).

3. Зростання якості надання мережевих послуг та захищеності персональної інформації споживачів, що у свою чергу призводить до відсутності втрат часу та коштів на відновлення втраченої інформації та/чи ділової репутації бізнес-одиниць.

4. Підвищення ділової активності підприємства, яка виникає завдяки прискоренню технологічних

та бізнес-процесів, що логічно призводить до зростання його ділової активності та фінансово-економічних результатів.

5. Вивільнення часу у населення та економія часу підприємців, що виникає у вигляді поліхромного ефекту, тобто економії часу за рахунок одночасного отримання різних засобів захисту від шкідливого контенту за допомогою КСФК.

При цьому чим більше синергетичний ефект від впровадження КСФК, тим глибше соціальна відповідальність організацій, що їх впроваджують, та ступінь соціально-економічної та технологічної взаємодії держави з суспільством.

## Висновки

Проведені дослідження показали, що впровадження КСФК має за мету отримання не лише технологічних результатів у вигляді затримання небажаного контенту. Реалізація КСФК призведе і до отримання низки економічних, соціальних та інших результатів. У статті розглянуто основні складові результативності впровадження КСФК на різних рівнях запровадження. Здійснено аналіз та доопрацювання переліку показників, що характеризують результативність впровадження КСФК шляхом додавання показників вартості (що відповідає Рекомендаціям МСЕ до мереж майбутнього) та рівня адаптивності (гнучкості). Встановлена векторна спрямованість показників та наведено підхід до їх визначення.

Наведено приклад розрахунку результативності впровадження КСФК та обґрунтовано припущення, що впровадження КСФК може супроводжуватися появою синергетичного ефекту.

У подальших дослідженнях планується розробка системи доопрацювання методичного підходу до визначення синергетичного ефекту від реалізації КСФК.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про Стратегію кібербезпеки України». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua>
2. Вахонин С. Эффективность применения контентной фильтрации в DLP-системах / С. Вахонин // Information Security, № 3, 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.itsec.ru/insec-about.php>
3. Каптур В.А. Формування профілів ефективності оцінки URI в комплексних системах фільтрації контенту / В.А. Каптур, І.А. Поднебесний // Матеріали 14 міжнародної НТК "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах", Одеса, 5-10 червня 2015. – РВЦ ХНУ, 2015. – С. 26-28.

4. Шевченко В.Л. Лучшие мировые практики управления информационной безопасностью и их влияние на экономическую стабильность государства / Сучасні інформаційно-телекомунікаційні технології: матеріали науково-технічної конференції (м. Київ, 17-20 листопада 2015 р.). У 5 томах. – Т. IV. Сучасні технології інформаційної безпеки. – Київ, ДУТ, 2015. – С. 5-7.
5. Saravana Balaji V., Amin Salih Mohammed, Chiai Al-Atroshi, “Adaptability of SOA in IoT Services – An Empirical Survey”, International Journal of Computer Applications, vol. 182(31), pp. 25-28, 2018, DOI: <http://doi.org/10.5120/ijca2018918249>
6. Звіт «Глобальний індекс кібербезпеки та профілі щодо кіберблагополуччя». [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.itu.int/ru/ITU-D/Pages/Global-Cybersecurity-Index-and-Cyberwellness-Profiles-Report.aspx>
7. Бутенко А.И. Управление предпринимательством: критерии эффективности / А.И. Бутенко, И.Н. Сараева. – Одесса: Феникс, 2004. – 364 с.
8. Каптур В.А. Показники оцінки ефективності роботи комплексних систем фільтрації контенту / В.А. Каптур, О.А. Князев, К.О. Шестаков // Матеріали 72-ої науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів ОНАЗ ім. О.С. Попова (13 – 15 грудня 2017 р.). Секція № 4. Інформаційна безпека. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2017. – С. 108-110.
9. Васильків Н. М. Ефективність інформаційних систем [Текст] / Н. М. Васильків. – Тернопіль : Економічна думка, 2005. – 98 с.
10. Сети последующих поколений – Структура и функциональные модели архитектуры: МСЭ-Т [Текст]: Международный стандарт электросвязи. – Y.2001. – [Действителен от 2004-17-12]. – Женева, 2005. – 12 с.
11. Краснокутська Н.С. Потенціал підприємства: формування та оцінка: навч. посібник / Н. С. Краснокутська. – Київ: Центр навчальної літератури, 2005. – 352 с.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С. Г. Семенов,

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків

Received (Надійшла) 22.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

#### Оценка результативности внедрения комплексных систем фильтрации контента

А. А. Князев

В работе показано, что информационные риски, а именно киберпреступность, относятся к основным проблемам современного цифрового пространства. Одним из проявлений киберугроз является присутствие нежелательного или неразрешенного контента в сети Интернет, что приводит к потерям социального, экономического, технологического и личного характера. Это, в свою очередь, приводит к снижению производительности труда бизнес-единиц, снижению деловой активности, проблемам у частных лиц из-за увеличения расходов при преодолении последствий киберпреступности. Для предотвращения этих потерь необходимо разрабатывать и внедрять комплексные системы фильтрации контента (КСФК). Поэтому цель работы связана с разработкой подходов к оценке результативности внедрения КСФК. Фильтрация нежелательного контента позволяет получать не только технологический эффект. Ограничение доступа к вредоносным ресурсам приводит к возникновению и других видов результативности. В работе определено, что введение КСФК приведет к возникновению финансового, экономического, ресурсного, социального, экологического, полихромного и технического результата. Приведен анализ показателей результативности, которая возникает на разных уровнях – для населения, предприятий и государства. Получила дальнейшее развитие существующая система индикаторов оценки технологической результативности внедрения КСФК путем введения показателей стоимости и уровня адаптивности (гибкости). Показана векторная ориентация существующих и предлагаемых индикаторов. Предложен подход к определению предлагаемых индикаторов оценки результативности введения КСФК и приведен пример расчета комплексного показателя результативности. Высказано предположение, что в результате внедрения КСФК возможно появление синергетического эффекта, который состоит в росте совокупного результата за счет общего действия всех элементов системы, что в итоге приводит к увеличению качественных характеристиках функционирования КСФК без увеличения количественных.

**Ключевые слова:** комплексная система фильтрации контента, результативность, внедрение, стоимость, адаптивность.

#### Estimation of productivity from introduction of complex systems of a filtration of a content

A. Kniaziev

It is possible to carry information risks, namely cybercriminality to the basic problems of modern digital space. One of displays of cyberthreats is presence of an undesirable or unapproved content in a network the Internet that leads to losses different on scales socially, economic, technological, personal character. It, in turn, causes reduction of productivity of activity of subjects of economic activities and private persons at the expense of increase in expenses at overcoming of consequences of cybercriminality. For prevention of these losses it is necessary to develop and introduce complex systems of a filtration of a content (CSFC). Therefore the work purpose is connected with working out of approaches to an estimation of productivity from introduction of CSFC. The filtration of an undesirable content allows to receive not only technological effect. Access restriction to harmful resources assists occurrence and other kinds of productivity. It is proved that introduction CSFC will lead to occurrence financial and economic, resource, socially-ecological, polychromical and technical productivity. Ordering of the designated productivity at different levels of its occurrence – for the population, the enterprises and the state is spent. The existing system of indicators of an estimation of technological overall performance CSFC by cost indexes and level of adaptability (flexibility) is added. The vector orientation of the existing and offered indicators is designated. The approach to calculation of the offered indicators of an estimation of productivity from introduction CSFC is developed and calculation of an complex indicator of productivity is carried out. Occurrence synergetics effect from introduction CSFC which consists in growth of cumulative effect at the expense of the general action of all elements of system which leads to increase in quality indicators of functioning without increase in the quantitative is proved.

**Keywords:** complex system of a filtration of a content, productivity, introduction cost, adaptability.



Л. М. Сакович, Г. Я. Криховецький, Я. Е. Небесна

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Київ, Україна

## ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ БАГАТОРЕЖИМНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Мета статті** – підвищення точності кількісної оцінки наробітку на відмову багаторежимних технічних об'єктів. **Результати.** У статті запропоновано підхід до кількісної оцінки значення наробітку на відмову багаторежимних технічних об'єктів, до яких відносяться засоби спеціального зв'язку. У відомих роботах під час розрахунку надійності цю обставину не враховують, що веде до заниження значення наробітку на відмову. Завдання вирішується впровадженням коефіцієнту використання кожного конструктивного елементу виробу в усіх можливих режимах роботи. Приведено приклад використання отриманих результатів для кількісної оцінки наробітку на відмову багаторежимного об'єкту і показано ефект від уточнення розрахунків. **Висновки.** Традиційна оцінка наробітку на відмову технічних об'єктів без врахування їх багаторежимності занижує значення цього показника надійності. Отримані результати доцільно використовувати під час проектування перспективних засобів спеціального зв'язку при оцінці їх наробітку на відмову, що дозволить зменшити вартість виробів за рахунок раціонального вибору елементів багаторежимних об'єктів. В дійсний час відомі залежності впливу метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки на середній час технічного обслуговування та поточного ремонту засобів спеціального зв'язку, що також необхідно враховувати під час оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою.

**Ключові слова:** багаторежимні об'єкти, оцінка надійності, наробіток на відмову.

### Вступ

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У даний час відсутні не тільки інженерні методи, але й теоретичні розробки аналізу надійності технічних систем зі змінною структурою, яка обумовлена її багатофункціональністю та багаторежимністю, коли в окремих режимах роботи використовують відповідні сукупності елементів [1, 2].

Властивості багаторежимності використовують під час розробки діагностичного забезпечення [3, 4], але при оцінці надійності традиційно вважають, що всі елементи об'єкту працюють одночасно [5–7], що суттєво занижує значення наробітку на відмову.

В дійсний час в сучасних вітчизняних і зарубіжних публікаціях з актуальних питань надійності складних технічних об'єктів і систем розглянуто окремі напрями підвищення значень показників їх надійності [8–15].

Але в цих виданнях зовсім не розглядаються питання комплексного врахування надійності окремих складових програмно-керованих багаторежимних засобів спеціального зв'язку зі змінною структурою під час оцінки їх показників як в процесі проектування, так і уточнення при дослідній експлуатації.

**Мета статті** – підвищення точності кількісної оцінки наробітку на відмову багаторежимних технічних об'єктів.

### Виклад основного матеріалу

Керівними документами нормується значення наробітку на відмову та середнього часу відновлення існуючих, модернізуємих та перспективних зразків засобів спеціального зв'язку. Тому під час проектування обов'язково виконують розрахунок надійності з кількісною оцінкою всіх показників надійності, які потім перевіряють під час дослідної експлуатації.

Засоби спеціального зв'язку відносяться до класу об'єктів зі змінною структурою, які можуть

бути одно і багатофункціональними, багаторежимними з фіксованою або довільною зміною режимів роботи.

Наприклад, радіостанція працює в режимі "прийм" або "передача", причому порядок зміни режимів роботи не фіксований. Система управління функціонуванням радіопередавача великої потужності послідовно в фіксованому порядку змінює кількість елементів в міру включення (ввід, охолодження, накалювання, зміщення, висока напруга).

Для моделювання цих об'єктів використовують відомий математичний апарат теорії множин [3, 4], але тільки під час розробки діагностичного забезпечення. Теоретико-множинні моделі дозволяють оцінити потужності множин елементів, які використовують в окремих режимах роботи, а також їх взаємозв'язок.

Наприклад, при фіксованій зміні режимів доцільно застосувати модель типу "гірлянда", коли з кожним кроком кількість задіяних елементів об'єкту збільшується. Це веде до зниження напрацювання на відмову і збільшення середнього часу відновлення, що погіршує значення комплексного показника надійності – коефіцієнту готовності об'єкту.

При довільній зміні режимів роботи радіоприймача або радіостанції доцільно використовувати теоретико – множинну модель із перетинами підмножин елементів, які мають ядро (наприклад, підсилювачі, електроживлення або генераторне обладнання). У цьому разі на надійність окремих підмножин елементів суттєво впливає час їх роботи в заданому режимі (наприклад, час роботи радіостанції в режимі "прийм" в разі більший ніж "передача"), тобто технічних ресурс елементів розходжується нерівномірно.

Для врахування цієї обставини пропонується застосовувати коефіцієнт використання за призначенням кожної підмножини елементів в можливих режимах роботи виробу, який розраховують як відношення часу роботи підмножини елементів до

загального часу роботи виробу в усіх можливих режимах. Його значення можливо кількісно оцінити із аналізу використання засобів спеціального зв'язку, що відображено в апаратних журналах вузлів зв'язку.

Очевидно, чим більше кількість можливих режимів роботи виробу, тим точніше оцінка значення наробітку на відмову з врахуванням властивості багатого режимності. Але, це потребує додаткових вихідних даних за прогнозований час роботи виробу в кожному режимі.

В дійсний час при проектування нових або модернізації існуючих засобів РЕЗ і засобів спеціального зв'язку виконують орієнтовний і уточнений розрахунок показників надійності.

В першому випадку усі елементи виробу піділяють на групи (резистори, конденсатори, транзистори, діоди, мікросхеми та інші) з приблизно однаковим значенням інтенсивності відмов, причому розглядають як мінімальні, так і максимальні значення, що отримані з довідників. Потім перемножують кількість елементів кожної групи на граничні значення інтенсивності відмов і сумують результати.

Таким чином отримують граничні значення параметру потоку відмов виробу і розраховують значення наробітку на відмову. Якщо необхідне значення попадає у ці межі, то виконують уточнений розрахунок надійності. Якщо ні, то потрібно змінити елементи на більш надійні і повторити розрахунок.

Тут і далі під вибором розуміють радіостанції тактичної ланки управління.

При уточненому розрахунку надійності використовують середні значення інтенсивності відмов кожного елемента з врахуванням коефіцієнта його електричного навантаження, а також кліматичних умов (температура, вологість, тиск) та механічного навантаження (вібрації, удари) залежно від умов подальшої експлуатації виробів.

В обох випадках не враховують час роботи елементів в окремих режимах ( $T_{pi}$ ), що знижує реальне значення наробітку на відмову РЕЗ в цілому.

Таким чином, цільова функція досліджень – мінімізація значення комплексного показника надійності виробу – коефіцієнту неготовності при обмеженнях на припустимі значення наробітку на відмову ( $T_d$ ) і середнього часу відновлення ( $T_{ed}$ ), що визначаються керівними документами, при заданому режимі експлуатації ( $T_{pi}, u_i$ ), приймає вигляд:

$$U(x) = \min U(x^*); x^* \in \Delta;$$

$$x = (L_i, u_i, T_{pi}, Z_i, n, p, t, t_y, P(\tau), T, T_e);$$

$$T(T_{pi}, u_i, Z_i, n) \geq T_d;$$

$$T_e(t, t_y, K, p, P(\tau)) \leq T_{вд};$$

де  $x$  – параметри, що впливають на надійність виробу;  $x^*$  – їх значення при рішення завдання;  $\Delta$  – область припустимих меж зміни значень параметрів.

*Групи некерованих параметрів:*

$L_i, n, Z_i$  – залежать від схеми виробу і надійності елементної бази.

*Групи керованих параметрів* в умовах експлуатації:

$T_i, u_i$  – залежать від режиму експлуатації виробу;  $t, t_y$  – залежать від кваліфікації виконавців і умов відновлення працездатності;

$K$  – залежить від якості діагностичного забезпечення і форми умовних алгоритмів пошуку дефектів;

$p, P(\tau)$  – залежать від засобів виміральної техніки, які використовують під час поточного ремонту для оцінки значень сигналів в контрольних точках виробу.

В такому разі в якості показника ефективності доцільно використовувати відносно зниження коефіцієнту неготовності, значення якого розраховано при використанні відомих методик ( $U'$ ), в порівнянні з отриманим за запропонованою моделлю надійності об'єктів зі змінною структурою ( $U$ )

$$\eta = 100(U' - U) / U' \%$$

Розглянемо порядок використання цих пропозицій на прикладі багаторежимного об'єкту, схема якого приведено на рис.1. Об'єкт працює в трьох режимах, в кожному із яких використано п'ять із восьми загальної підмножини елементів. Це є теоретико – множинна модель з сильними перетинами підмножини елементів і ядром, що складають елементи 7 і 8, які використовують в усіх режимах роботи.

При традиційному орієнтовному розрахунку надійності сумують мінімальні і максимальні значення параметру потоку відмов окремих елементів ( $Z_i$ ), після чого визначаються межі зміни і середнє значення наробітку на відмову [5-7]

$$T' = \frac{1}{\sum_{i=1}^L Z_i}$$

При цьому реальний час роботи окремих елементів не враховується.

Якщо відоме значення параметру  $Z_{Ri}$  відмов окремих елементів виробу, то для кожного режиму роботи отримуємо:

$$Z_{R1} = Z_1 + Z_4 + Z_5 + Z_7 + Z_8;$$

$$Z_{R2} = Z_2 + Z_4 + Z_6 + Z_7 + Z_8;$$

$$Z_{R3} = Z_3 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8.$$

В такому разі наробіток на відмову виробу в кожному режимі роботи дорівнює:

$$T_1 = \frac{1}{Z_{R1}};$$

$$T_2 = \frac{1}{Z_{R2}};$$

$$T_3 = \frac{1}{Z_{R3}}.$$

При наявності додаткових даних щодо часу роботи виробу в окремих режимах ( $T_{pi}$ ) можливо розрахувати значення відносного коефіцієнту використання кожного елемента відповідно:

$$\begin{aligned}
 u_1 &= \frac{T_{p1}}{T_p}; \\
 u_2 &= \frac{T_{p2}}{T_p}; \\
 u_3 &= \frac{T_{p3}}{T_p}; \\
 u_4 &= \frac{T_{p1} + T_{p2}}{T_p}; \\
 u_5 &= \frac{T_{p1} + T_{p3}}{T_p}; \\
 u_6 &= \frac{T_{p2} + T_{p3}}{T_p}; \\
 u_7 &= 1; \\
 u_8 &= 1; \\
 T_p &= T_{p1} + T_{p2} + T_{p3};
 \end{aligned}$$

де  $T_p$  – загальний час роботи виробу в усіх можливих режимах.

Це дозволяє з урахуванням конкретного часу роботи кожного елемента виробу кількісно оцінити прогнозуємо число їх відмов і виробу в цілому:

$$N = T_p \sum_{i=1}^8 u_i Z_i = \sum_{i=1}^8 Z_i T_{pi}.$$

Тоді параметр потоку відмов виробу в цілому дорівнює

$$Z = \frac{N}{T_p} = \sum_{i=1}^8 u_i Z_i.$$

а наробіток на відмову з урахуванням часу роботи підмножин елементів в окремих режимах, відповідно

$$T = T_p / N.$$

Припустимо, що всі підмножини елементів в прикладі, який розглядається, рівно надійні ( $Z_i = Z$ ) і в кожному режимі роботи вибір працює однаковий час ( $T_{pi} = T_p/3$ ), тоді отримуємо:

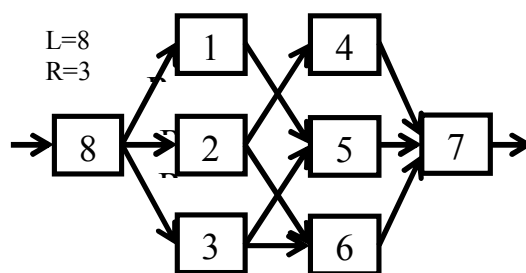
$$\begin{aligned}
 u_1 &= u_2 = u_3 = 1/3; \\
 u_4 &= u_5 = u_6 = 2/3; \\
 u_7 &= u_8 = 1.
 \end{aligned}$$

Загальна кількість відмов виробу за час роботи  $T_p$  складає:

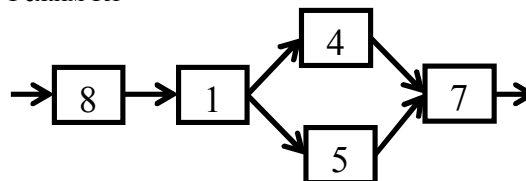
$$N = Z T_p \sum_{i=1}^8 u_i = 5Z T_p.$$

а наробіток виробу на відмову  $T = 1/5Z$ .

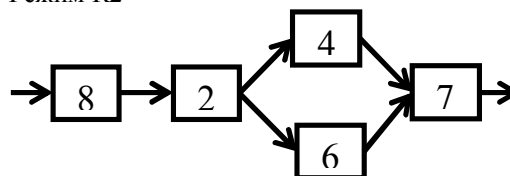
За тих же умов при традиційному орієнтовному розрахунку надійності отримуємо  $T = 1/8Z$ , тобто реальне значення наробітку на відмову виробу при врахуванні його властивості багаторежимності збільшилось в  $\eta = T/T' = 1,6$  рази.



Режим R1



Режим R2



Режим R3

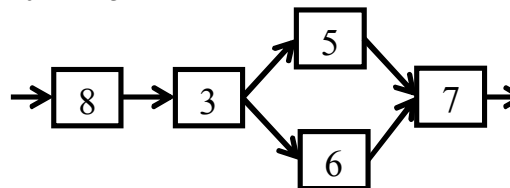


Рис. 1. Приклад багаторежимного технічного об'єкту з ядром і кількісним перетином підмножини елементів

Очевидно, чим більше кількість можливих режимів роботи виробу, тим точніше оцінка значення наробітку на відмову з врахуванням властивості багаторежимності.

Але, це потребує додаткових вихідних даних за прогнозований час роботи виробу в кожному режимі.

Використання отриманих результатів на прикладі радіостанції тактичної ланки управління Р-173М1 показує, що зі збільшенням відносного часу роботи радіостанції в режимі "прийм":

наробіток на відмову зменшується, оскільки в цьому режимі використовується більшість елементів радіостанції (рис. 2);

середній час відновлення також не суттєво збільшується оскільки зростає значення імовірності відмови в прийомній частині радіостанції, при чому ця закономірність зберігається в будь-якому часі виконання перевірки  $t$  (рис. 3);

внаслідок зменшення значення наробітку на відмову  $T$  і збільшення середнього часу відновлення  $T_0$  також зменшується комплексний показник надійності – коефіцієнт готовності  $A$  та, відповідно, зростає значення коефіцієнту неготовності  $U$ ;

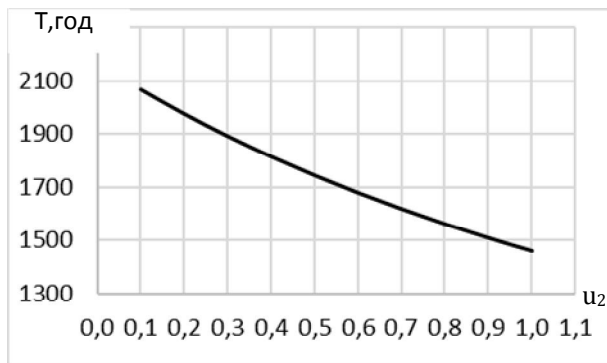


Рис. 2. Залежність наробітку на відмову радіостанції від відносного часу роботи в режимі «прийом»

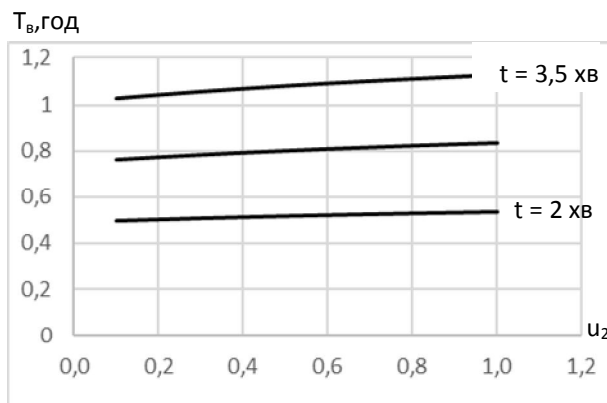


Рис. 3. Залежність середнього часу відновлення радіостанції від відносного часу роботи в режимі «прийом»

при збільшенні метрологічної надійності  $P(\tau)$  засобів вимірювань параметрів радіостанції на 6,7% значення коефіцієнту неготовності зменшується всього на 6,5%;

при скороченні середнього часу усунення несправності на 50% (з 10 до 5 хв) значення коефіцієнту неготовності зменшується всього на 11,2%;

при збільшенні значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки на 5,9% (з 0,941 до 0,997) значення коефіцієнту неготовності зменшується на 63,5%;

вказані тенденції зберігаються при будь яких значеннях середнього часу виконання перевірки  $t$ , причому його скорочення за рахунок підвищення кваліфікації виконавців та удосконалення діагностичного забезпечення (вибір перевірок з меншими

працевтратами) веде до підвищення коефіцієнту готовності ( $A$ ).

Проведений аналіз показує, що найбільший ефект в підвищенні показників надійності досягається удосконаленням діагностичного і метрологічного забезпечення поточного ремонту радіостанції.

Порівняння результатів з прототипом (розрахунок аналогічних показників без врахування багаторежимності радіостанції) показує, що при 90% часу роботи радіостанції в режимі «прийом» ( $u_2 = 0,9$ ), що найчастіше має місце на практиці, маємо уточнення часу наробітку на відмову на 33% ( $T = 1507$  год), середнього часу відновлення на 14% ( $T_e = 50$  хв.) і зниження коефіцієнту неготовності на 28% ( $U = 0,000548$ ).

Тобто, можливо було використовувати елементи меншої вартості для забезпечення необхідних вимог щодо надійності радіостанції під час її проектування і виробництва.

## Висновки

1. Традиційна оцінка наробітку на відмову технічних об'єктів без врахування їх багаторежимності занижує значення цього показника надійності. Тобто, якщо воно задовольняє вимогам, то реальне значення наробітку на відмову буде більше, що впливає на вартість виробу.

2. Отримані результати доцільно використовувати під час проектування перспективних засобів спеціального зв'язку при оцінці їх наробітку на відмову, що дозволить зменшити вартість виробів за рахунок раціонального вибору елементів багаторежимних об'єктів.

3. В дійсний час відомі залежності впливу метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки на середній час технічного обслуговування [16] та поточного ремонту засобів спеціального зв'язку, що також необхідно враховувати під час оцінки значень показників надійності об'єктів зі змінною структурою.

4. Подальші дослідження слід направити на оцінку впливу можливості зміни структури системи зв'язку (особливо польові елементи під час навчання або бойових дій) для оцінки показників її надійності – коефіцієнту готовності і ймовірності зв'язку абонентів, що не враховують відомі методики [17–19].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Половко А.М. Основи теорії надійності / А.М.Половко, С.В.Гуров. – СПб.: БВХ – Петербург, 2006. – 704 с.
2. Сакович Л.М. Оцінка надійності технічних об'єктів зі змінною структурою / Л.М.Сакович, Я.Е.Небесна / XXII всеукраїнська науково – практична конференція. Тези доповідей – Житомир, ЖВІ ім. С.П.Корольова, 2018. – С.201–203.
3. Ксенз С.П. Теоретические и прикладные задачи диагностирования средств связи и автоматизации / С.П.Ксенз, А.А.Волынский, Л.Н. Сакович и другие Л.: ВАС, 1990 – 336 с.
4. Ксенз С.П. Борьба с диагностическими ошибками при техническом обслуживании и ремонте систем управления связи и навигации / С.П. Ксенз, М.И. Полтаржицкий, С.П. Алексеев, В.В. Минеев. – СПб.: ВАС, 2010 – 240 с.
5. Острейковский В.А. Теория надежности / В.А.Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
6. Хабаров Б.П. Техническая диагностика и ремонт бытовой радиоэлектронной аппаратуры / Б.П. Хабаров, Г.В. Куликов, А.А. Парамонов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 376 с.
7. Бобало Ю.Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем / Ю.Я.Бобало, Б.Ю. Волочий, С.Ю.Лозинський та ін.. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 300 с.

8. Хенли, Э.Дж. Надёжность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото. – М.: Машиностроение, 1984.
9. Диллон, Б. Инженерные методы обеспечения надёжности систем / Б. Диллон, Ч. Сингх. – М.: Мир, 1984.
10. Kuchuk G.A. An Approach To Development Of Complex Metric For Multiservice Network Security Assessment / G.A. Kuchuk, A.A. Kovalenko, A.A. Mozhaev // Statistical Methods Of Signal and Data Processing (SMSDP – 2010): Proc. Int. Conf., October 13-14, 2010. – Kiev: NAU, RED, IEEE Ukraine section joint SP, 2010. – P. 158 – 160.
11. V. Manikandan, V. Porkodi, Amin Salih Mohammed and M. Sivaram (2018), “Privacy preserving data mining using threshold based fuzzy cmeans clustering”, ICTACT Journal On Soft Computing, 2018, Vol. 09, Issue 01, pp. 1813-1816.
12. Amin Salih Mohammed, D Yuvaraj, M. Sivaram Murugan, V. Porkodi, “Detection and removal of black hole attack in mobile ad hoc networks using grp protocol”, International Journal of Advanced Computer Research, vol. 9, no. 6, pp. 1-6, 2018, DOI: <http://doi.org/10.26483/ijarcs.v9i6.6335>
13. Saravana Balaji B., Amin Salih Mohammed, Chiai Al-Atroshi, “Adaptability of SOA in IoT Services – An Empirical Survey”, International Journal of Computer Applications, vol. 182(31), pp. 25-28, 2018, DOI: <http://doi.org/10.5120/ijca2018918249>
14. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113.
15. Кучук, Г.А. Модель процесса эволюции топологической структуры компьютерной сети системы управления объектом критического применения / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, А.А. Янковский // Системы обработки информации: сборник научных трудов. – Х.: ХУ ВС, 2014. – Вып. 7 (123). – С. 93 – 96.
16. Сакович Л.М., Небесна Я.Е. Оцінка впливу метрологічної надійності засобів вимірювань на час виконання технічного обслуговування засобів спеціального зв'язку / Л.М. Сакович, Я.Е. Небесна // IC33I Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації. – 2018 Випуск № 1 (3)Том 3, С. 49-53.
17. Сакович Л.М. Кількісне оцінювання значень показників надійності систем зв'язку / Л.М.Сакович, С.Є.Гнатюк // Зв'язок.–2013.–№6.–С. 10-15.
18. Гнатюк С.Є. Методика оцінки показників надійності систем спеціального зв'язку / С.Є.Гнатюк, Л.М.Сакович // Озброєння та військова техніка. - №1 (5). – 2015, С. 26-28.
19. СаковичЛ.М. Комплексність підходу щодо оцінювання ефективності функціонування системи зв'язку за відповідними показниками якості / Л.М.Сакович, В.П.Романенко, С.Є.Гнатюк, І.Ю.Розум // Сучасні інформаційні технології в сфері безпеки та оборони. - №1 (31). – К.: 2018, НУОУ імені Івана Черняхівського. – С.95-103.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.В.Козловський,

Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації НТУ України “КПІ ім. І.Сікорського”, Київ

Received (Надійшла) 08.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 16.01.2019

### Оценка надежности многорежимных технических объектов

Л. Н. Сакович, Г. Я. Криховецкий, Я. Э. Небесная

**Цель статьи** - повышение точности количественной оценки наработки на отказ многорежимный технических объектов. **Результаты.** В статье предложен подход к оценке надежности объектов с переменной структурой, определяемой возможными режимами работы. В известных работах это обстоятельство при количественной оценке значения наработки изделия на отказ не учитывается, что ведет к занижению расчетного значения указанного показателя надежности и повышению стоимости. Предлагается использование коэффициента, учитывающего время работы отдельных конструктивных элементов в каждом режиме. Приведен пример использования полученных результатов и рекомендации по их дальнейшему развитию. **Выводы.** Традиционная оценка наработки на отказ технических объектов без учета их многорежимности занижает значение этого показателя надежности. Полученные результаты целесообразно использовать при проектировании перспективных средств специальной связи при оценке их наработки на отказ, что позволит уменьшить стоимость изделий за счет рационального выбора элементов многорежимный объектов. В настоящее время известны зависимости влияния метрологической надежности средств измерительной техники на среднее время технического обслуживания и текущего ремонта средств специальной связи, что также необходимо учитывать при оценке значений показателей надежности объектов с переменной структурой.

**Ключевые слова:** многорежимные объекты, оценка надежности, наработка на отказ.

### Evaluation of the reliability of multi-mode technical object

L. Sakovich, G. Krykhovetskiy, Y. Nebesna

**The purpose of the paper** is to increase the accuracy of the quantitative assessment of the failure of multi-mode technical objects. **Results.** The article proposes an approach to assessing the reliability of objects with a variable structure determined by possible modes of operation. In well-known works, this circumstance is not taken into account when quantifying the value of the product's time between failures, which leads to an underestimation of the calculated value of the indicated reliability index and an increase in cost. It is proposed to use a coefficient that takes into account the time of operation of individual structural elements in each mode. An example of the use of the results obtained and recommendations for their further development are given. **Conclusions.** The traditional assessment of the failure of technical objects without taking into account their multi-mode understate the value of this reliability index. The obtained results should be used during the design of promising means of special communication when evaluating their work abandonment, which will reduce the cost of products due to rational choice of elements of multi-mode objects. At the present time, the dependence of the influence of the metrological reliability of measuring equipment on the average maintenance time and the current repair of special communication means is also known, which also needs to be taken into account when evaluating the values of reliability indicators of variable-structured objects.

**Keywords:** multimode objects, reliability assessment, MTBF.

Д. В. Сальников, О. Г. Васильченко

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕДИАННЫЙ ФИЛЬТР С ПОСТ ФИЛЬТРАЦИОННЫМ ПРИНЯТИЕМ РЕШЕНИЯ

Обработка изображений становится одной из наиболее востребованных областей цифровой обработки сигналов. Данные изображений подвержены зашумлению в процессе снятия с датчика и передаче по разнообразным телекоммуникационным каналам. С каждым годом растет качество и объем данных изображений, что существенно усложняет требования к скорости работы цифровых фильтров изображений. На данный момент широкое распространение получили адаптивные фильтры на основе медианного фильтра, позволяющие добиться высоких результатов качества фильтрации для разнообразных видов шума и уровней зашумления. Такие фильтры зачастую содержат сложные алгоритмы детектирования зашумленных пикселей, существенно снижающие количество обрабатываемых в секунду кадров. В данной статье предложен алгоритм фильтра с принятием решения о зашумлении после процедуры фильтрации, обладающий высоким уровнем шумоподавления, а также высокой скоростью работы. Предложенный фильтр обладает высоким уровнем качества фильтрации на различных уровнях зашумления импульсным шумом. В структуре фильтра нет сложных с точки зрения вычислительной нагрузки операций, что позволяет реализовать его оптимизированную версию под популярные на текущий момент системы на кристалле, ПЛИС и процессоры с векторной арифметикой. Дальнейший интерес представляет исследование фильтра с другими видами шума, а также исследование влияния изменения апертуры фильтра.

**Ключевые слова:** фильтрация, медиана, шум, fpga, simd.

### Введение

На текущий момент огромное количество техники, созданной человеком, использует оптические датчики или же сигналы, полученные при помощи них. Оцифрованные изображения снятые с камеры, подвержены зашумлению, ввиду низкого качества датчика, плохих условий съемки, шумов в канале передачи данных. Таким образом, становится актуальной задача обесшумливания изображений. В данный момент популярность приобрели адаптивные цифровые фильтры изображений, способные осуществлять фильтрацию сигналов с различными параметрами и уровнями зашумления.

Немаловажным параметром работы любой технической системы являются ресурсы, затрачиваемые ею для работы. Таким образом, необходимы фильтры изображений, позволяющие осуществлять фильтрацию с высоким уровнем шумоподавления при высокой скорости работы.

Наличие сложных нелинейных вычислений вносит существенные трудности в процесс оптимизации фильтра под любую аппаратную платформу. Такими вычислениями можно считать циклы недетерминированной длины и «сложные» с точки зрения затрат ресурсов операции вроде деления, нахождения корня и т.п. Следует отметить, что абсолютное большинство современных фильтров [1–4] используют операцию нахождения медианы. Эта операция хорошо реализуема в современных ПЛИС и процессорах без использования циклов или иной логики с применением ветвлений или логических автоматов, приводящих к существенным потерям скорости работы алгоритма. Таким образом, нет необходимости производить ее в конце вычислений, только после принятия решения о зашумленности.

Предложенный ниже фильтр имеет детектор шума простой структуры, без операций деления и циклов. Это позволяет реализовать его для ПЛИС и

векторных процессоров со сравнительно низкими затратами ресурсов и высокой производительностью путем выполнения конвейеризированной обработки нескольких пикселей изображения одновременно.

### Обзор структуры фильтра

Алгоритм работы фильтра представлен на рис. 1. ниже. Его можно разделить на две стадии: нахождения медианы окна и принятия решения о зашумленности исследуемого пикселя. Т.е. после процедуры нахождения медианы окна происходит сравнение найденного значения с изначальным значением пикселя. В случае отличия абсолютного значения этих величин на величину порога и более, принимаем решение о том, что пиксель зашумленый.

Нахождение медианного значения в пределах текущего окна не является сложной операцией с точки зрения затрат ресурсов и может быть выполнена в виде сортирующей сети, которая зачастую может быть оптимально реализована при помощи процессорных SIMD инструкций или компараторов на ПЛИС.

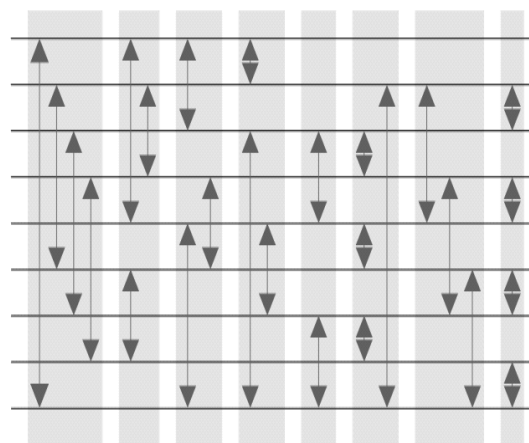


Рис. 1. Структура сортирующей сети Батчера

Блок-схему работы фильтра с пост-фильтрационным принятием решения можно представить в виде диаграммы (рис. 2).

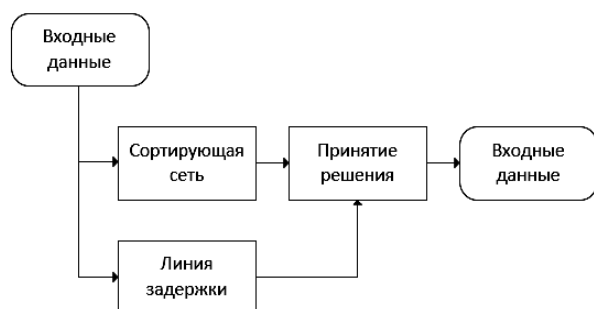


Рис. 2. Блок-схема алгоритма работы фильтра

Благодаря простой структуре фильтр легко поддается конвейеризации на ПЛИС путём реализации сортирующей сети, нахождения разности и операции сравнения. При использовании аппаратуры фильтра 3 и сортирующей сети Батчера [5] на вычисление одного значения будет затрачено:

$$T = T_{sort} + 2 \text{ тактов.} \quad (1)$$

Так как операции необходимые для фильтрации одного окна абсолютно идентичны операциям другого, реализация на современных векторных и VLIW процессорах позволяет рассчитывать несколько окон одновременно с последующим условным сохранением результатов в память.

### Методика оценки качества фильтрации

Для оценки качества работы фильтра использовался набор монохромных изображений. Каждое изображение было подвержено зашумлению шумом типа «соль-перец» с интенсивностью от 0 до 95%. После чего оценки сходства подвергались исходное изображение и восстановленное исследуемым фильтром. Пиковое отношение сигнал-шум (PSNR) – наиболее распространенный в литературе метод оценки качества фильтрации изображений на текущий момент. Оценка производится таким образом:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} |X(i, j) - K(i, j)|^2 \quad (2)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{MAX_x^2}{MSE} \right) \quad (3)$$

где  $X, Y$  – исследуемые изображения;  $m, n$  – размеры изображений;  $MAX_x$  – максимальное значение сигнала  $X$ .

Несмотря на свою популярность, данный метод учитывает величину отклонения сигналов, что в некоторых случаях приводит к высоким показателям сходства, хотя на изображении можно наблюдать существенные различия. Примером такого случая можно считать искажения после сжатия алгоритмом JPEG.

Метод структурного сходства (SSIM) позволяет избежать данного недостатка. Оценка SSIM производилась согласно следующей формуле:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (4)$$

где  $x, y$  – исследуемые изображения;  $\mu_x$  – среднее значение  $x$ ;  $\mu_y$  – среднее значение  $y$ ;  $\sigma_x^2$  – дисперсия  $x$ ;  $\sigma_y^2$  – дисперсия  $y$ ;  $\sigma_{xy}$  – ковариация  $x$  и  $y$ ,  $c_1 = (0.01L)^2$ ,  $c_2 = (0.03L)^2$ ,  $L$  – динамический диапазон (255 в случае 8-битного сигнала).

В дополнение к данным методам представлена статистика корректности работы детектора шума. Было подсчитано количество зашумленных пикселей в исходном и обработанном изображении. Представлены процентные соотношения обнаруженных, не обнаруженных зашумленных пикселей, а также процент ложных срабатываний детектора.

### Аппаратные затраты на реализацию фильтра

Реализация нелинейных адаптивных фильтров на различных аппаратных платформах затруднена в следствии ряда причин. Вот некоторые из них:

- наличие сложных нелинейных связей приводящих к большому количеству ветвлений в программе, которые не позволяют использовать векторные инструкции процессоров;
- наличие сложных с вычислительной точки зрения алгоритмов и операций в составе фильтра (деление, нахождения корня и т.п.);
- наличие циклов оценки каких-либо параметров с выходом из цикла в результате вычислений, что затрудняет развертывание цикла для его ускорения.

Ярким представителем можно считать ASWM [6] фильтр, который сложно конвейеризировать для реализации на ПЛИС.

### Реализация фильтра на ПЛИС

Реализация предложенного фильтра на ПЛИС представляет собой реализацию трех модулей: сортирующей сети; линии задержки входного сигнала на время сортировки; блок принятия решения о зашумленности. В данной работе использовалась сортирующая сеть Батчера, которая, в случае апертуры фильтра  $3 \times 3$  имеет длину 8 тактов, блок принятия решения состоит из компаратора и мультиплексора, т.е. его длина составляет 2 такта. Затраты аппаратных ресурсов ПЛИС приведены в табл. 1. Длина фильтра составляет 10 тактов без учета загрузки и сохранения данных из памяти.

### Реализация на ARM NEON

Реализация данного фильтра возможна и на ЦП ARM с набором инструкций NEON или же другим SIMD набором инструкций. Поскольку инструкции оперируют векторами величин, подход к реализации схож с реализацией на ПЛИС. Элементы сравнения обмена сортирующей сети были реализованы при помощи инструкций `vmov_u8`, `vminq_u8` и `vmaxq_u8`, а блок сравнения при помощи инструкций `vcmpneq_u8` и `vshlq_u8`. Таким образом, об-

рабатывается 16 окон входного изображения одновременно. Ввиду того, что для реализации необхо-

димо большое количество регистров финальное ус-  
корение несколько меньше и составляет 14.7 раз.

Таблица 1 Затраты аппаратных ресурсов ПЛИС

	MAX 10	Cyclone V	Cyclone IV E	Cyclone IV GX	Cyclone 10
Total logic elements	415	258	417	414	418
Total registers	301	306	301	301	301
Total memory bits	88	104	88	88	88
Multiplier 9-bit	0	0	0	0	0

Ввиду того, что для реализации необходимо большое количество регистров финальное ускорение несколько меньше и составляет 14.7 раз.

### Исследование производительности предложенного фильтра

Для сравнения качества детектирования были использованы процентные соотношения для обнаруженных зашумленных пикселей, не обнаруженных зашумленных пикселей, а также пикселей не содержащих шума, но принятых алгоритмом как зашумленных. Для сравнения же итогового качества фильтрации с учетом математических методов обнаружения различий и физиологических аспектов восприятия изображений человеком были использованы PSNR и SSIM метрики (табл. 2).

На рис. 3 и 4 представлены PSNR и SSIM метрики результатов фильтрации для ASWM фильтра,

медианного фильтра (который не содержит алгоритма детектирования) и предложенного фильтра с пороговыми значениями 5, 10, 15, 30.

Как видно из кривых детектор ASWM фильтра проигрывает предложенному (с количеством блоков более 15) на всем исследованном диапазоне величины зашумления.

Предложенный фильтр обладает высоким уровнем качества фильтрации на различных уровнях зашумления импульсным шумом. В структуре фильтра нет сложных с точки зрения вычислительной нагрузки операций, что позволяет реализовать его оптимизированную версию под популярные на текущий момент системы на кристалле, ПЛИС и процессоры с векторной арифметикой. Дальнейший интерес представляет исследование фильтра с другими видами шума, а также исследование влияния изменения апертуры фильтра.

Таблица 2 – Результаты моделирования предложенного фильтра

Ур. шума	Фильтр	Зашумлено, шт	Обнаружено, шт	Обнар., %	Не обнар., %	PSNR	SSIM
0,05	A	12806	12674	98,9	1,0	37,1	0,98
	10	12806	12758	99,6	0,3	33,3	0,94
	20	12806	12758	99,6	0,3	35,4	0,97
	30	12806	12727	99,3	0,6	37,1	0,98
	40	12806	11532	90,0	9,9	36,1	0,95
0,15	A	36502	35619	97,5	2,4	33,6	0,94
	10	36502	36349	99,5	0,4	31,5	0,92
	20	36502	36349	99,5	0,4	32,8	0,96
	30	36502	36240	99,2	0,7	33,8	0,96
	40	36502	32979	90,3	9,6	32,1	0,90
0,30	A	67984	64989	95,5	4,4	30,0	0,88
	10	67984	67676	99,5	0,4	29,3	0,89
	20	67984	67675	99,5	0,4	30,1	0,92
	30	67984	67407	99,1	0,8	30,7	0,93
	40	67984	60917	89,6	10	28,9	0,84
0,45	A	94912	94912	100	0	27,3	0,81
	10	94912	94315	99,3	0,6	27,6	0,85
	20	94912	94315	99,3	0,6	28,1	0,88
	30	94912	93741	98,7	1,2	28,5	0,88
	40	94912	84310	88,8	11	26,7	0,79
0,60	A	118076	106804	90,4	9,5	24,5	0,71
	10	118076	116645	98,7	1,2	25,3	0,78
	20	118076	116638	98,7	1,2	25,7	0,81
	30	118076	115721	98,0	1,9	25,8	0,82
	40	118076	103554	87,7	12	24,4	0,72
0,75	A	138232	119606	86,5	13	21,7	0,60
	10	138232	134400	97,2	2,7	22,6	0,68
	20	138232	134383	97,2	2,7	22,8	0,71
	30	138232	132909	96,1	3,8	22,9	0,71
	40	138232	118329	85,6	14	21,9	0,63
0,90	A	155504	126656	81,4	18	18,9	0,47
	10	155504	146786	94,3	5,6	19,9	0,56
	20	155504	146770	94,3	5,6	20,0	0,58
	30	155504	144377	92,8	7,1	20,0	0,58
	40	155504	128156	82,4	17	19,3	0,51



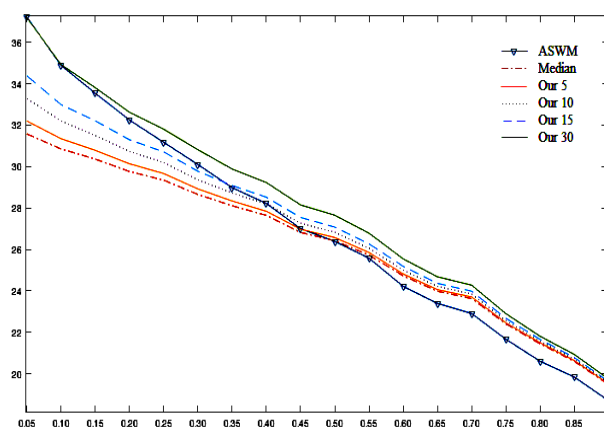


Рис. 3. PSNR пропонуваного фільтра (Our 5, 10, 15, 30), ASWM і медіанного фільтрів для різного рівня зашумлення

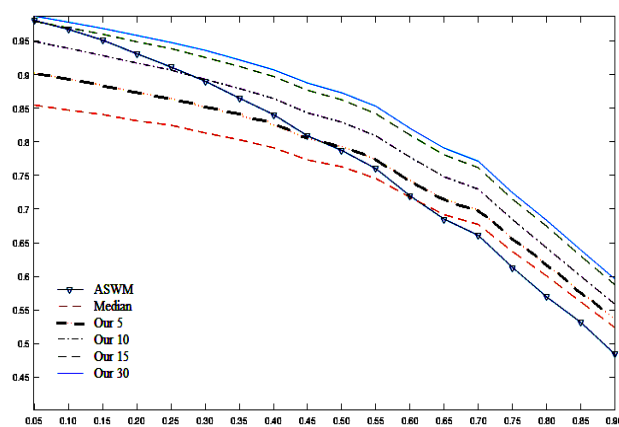


Рис. 4. SSIM пропонуваного фільтра (Our 5, 10, 15, 30), ASWM і медіанного фільтрів для різного рівня зашумлення

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. D. Brownrigg, "The weighted median filter," *Commun. Assoc. Comput. Mach.*, vol. 27, pp. 807–818, Mar. 1984
2. S. J. Ko and Y. H. Lee, "Center weighted median filters and their applications to image enhancement," *IEEE Trans. Circuits Syst.*, vol. 38, pp. 984–993, 1991
3. Y. Dong and S. Xu, "A new directional weighted median filter for removal of random-value impulse noise," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 14, pp. 193–196, Mar. 2007.
4. Zhang S., Karim M.A. A new impulse detector for switching median filters // *IEEE Signal Processing Letters*. 2002. Vol.9. Pp. 360-363.
5. K.E. Batcher Sorting networks and their applications, AFIPS '68 (Spring) Proceedings of the April 30--May 2, 1968, spring joint computer conference, Pages 307-314
6. Smaïl Akkoul, A New Adaptive Switching Median Filter // *IEEE Signal Processing Letters*, Vol 17, 2010, pp. 587 – 590/

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

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

Received (Надійшла) 29.11.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 23.01.2019

#### Модифікований медіанний фільтр з пост-фільтраційним прийняттям рішення

Д. В. Сальніков, О. Г. Васильченко

Обробка зображень стає однією з найбільш затребуваних областей цифрової обробки сигналів. Дані зображень схильні до зашумлення в процесі зняття з датчика і передачі різноманітними телекомунікаційними каналами. З кожним роком зростає якість і обсяг даних зображень, що істотно ускладнює вимоги до швидкості роботи цифрових фільтрів зображень. На даний момент широкого поширення набули адаптивні фільтри на основі медіанного фільтра, що дозволяють домогтися високих результатів якості фільтрації для різноманітних видів шуму і рівнів зашумлення. Такі фільтри часто містять складні алгоритми детектування зашумлених пікселів, що істотно знижують кількість оброблюваних в секунду кадрів. В даний статті запропоновано алгоритм фільтра з прийняттям рішення про зашумлення після процедури фільтрації який володіє високим рівнем шумозаглушення, а також високою швидкістю роботи. У структурі фільтра немає складних з точки зору обчислювальної навантаження операцій, що дозволяє реалізувати його оптимізовану версію під популярні на поточний момент системи на кристалі, ПЛІС і процесори з векторної арифметикою. Подальший інтерес представляє дослідження фільтра з іншими видами шуму, а також дослідження впливу зміни апертури фільтра.

**Ключові слова:** фільтрація, медіана, шум, fpga, simd.

#### Modified median filter with post-filtration decision making

D. Salnikov, O. Vasylychenkov

Image processing becomes one of the most important areas of digital signal processing. Data of images is corrupted with noise in the process of capturing from the sensor and transmitting via various telecommunication channels. Every year, the quality and amount of images data increases. Thus, requirements of processing speed of digital image filters goes up. Adaptive filters based on the median filter have become widespread. They achieve high filtering quality for various types and levels of noise. Such filters often contain complex algorithms for detecting noisy pixels, which significantly reduce number of frames processed per second. In the given article proposed an algorithm of the filter with making decision of pixel noisiness after the filtering procedure, which achieves high filtration quality and speed. In the structure of the filter, there are no complicated in terms of computational load operations, which allows to implement its optimized version for the current popular system on the crystal, FPGAs and processors with vector arithmetic. Further interest is the study of the filter with other types of noise, as well as the study of the effect of changing the aperture of the filter.

**Keywords:** filtration, median, noise, fpga, simd.

I. Yakhno<sup>1</sup>, O. Malyk<sup>1</sup>, S. Hatsenko<sup>2</sup>, A. Shyshatskyi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Main Headquarters of the National Guard of Ukraine, Kyiv, Ukraine,

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

<sup>3</sup> Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv

## FOUNDATION OF THE FACTORS AFFECTING THE PLANNING AND MANAGEMENT OF THE RADIOELECTRONIC DEVELOPMENT

The military-political situation around Ukraine is characterized by high dynamism and instability of events and processes. Against the background of the main task of the Armed Forces of Ukraine at the present stage of development is the intensification of intelligence in order to timely prevent the top leadership of Ukraine about possible armed aggression of the Russian Federation, bringing its troops (forces) to higher levels of combat readiness and preventing the active actions of illegal armed groups. Providing information superiority over the enemy today is becoming a prerequisite for conducting military operations. The main type of information support is military intelligence, and its basis is radio-electronic intelligence. The authors of the above-mentioned research carried out an analysis of the influence of external and internal factors influencing the efficiency of conducting radio-electronic intelligence. During the research, the authors used the basic provisions of the theory of radio-electronic intelligence, the theory of communication, the theory of electronic warfare, the theory of signals, and general scientific methods of analysis and synthesis. According to the results of the research, it can be concluded that the effectiveness of conducting radio-electronic intelligence is influenced by the state and level of combat training and combat readiness of the personnel of the radio-intelligence group; operational and technical capabilities of electronic intelligence tools and communication of the forces; the need to move a forces of radio-electronic intelligence; fire influence of the enemy; restrictions that take into account the influence of electronic warfare devices; natural, meteorological, geographical conditions, and so on. The influence of these factors leads to an incomplete realization of the objective capabilities of the forces of radio-electronic intelligence, and in a number of cases, to their significant decrease. Taking into account the above, the direction of further research should be considered the development of a scientific and methodical apparatus for improving the efficiency of conducting radio-electronic intelligence by the forces of radio-electronic intelligence.

**Keywords:** radio communication systems, radio resources, noise immunity, radio-electronic suppression, radio-electronic intelligence, secrecy.

### Introduction

The military-political situation around Ukraine is characterized by high dynamism and instability of events and processes [1-3].

The main task of the Armed Forces of Ukraine (AF of Ukraine) at the present stage is to intensify intelligence in order to timely prevent the top management of Ukraine about possible armed aggression of the Russian Federation (RF), to bring its troops (forces) to higher levels of combat readiness, to prevent active actions of illegal armed units [2].

Proceeding from the fact that the achievement of the information superiority over the enemy today becomes the main condition for the successful conduct of operations, combat operations, battles, military intelligence, as the main type of information support for troops (forces), gaining qualitatively new importance, with the radio-electronic intelligence (REI) as a component of military intelligence, up to 90% of intelligence objects are exposed, because of the work of radio-electronic devices (RED) of scattered objects [4, 5].

Creation of a modern intelligence system is carried out by reforming parts and units of the radio-electronic intelligence, optimization of their organizational and staff structure.

This requires:

improvement of the REI process of conducting intelligence, collecting, processing, analyzing and accumulating it;

development of new and upgrading existing REI facilities, which are armed with parts and units of the REI;

improvement of the combat training of parts and units of the REI, especially those related to the practical implementation of the personnel of their assigned functional duties.

One of the new approaches can be seen in the practice of a wider and more flexible application of REI groups.

*The purpose* of this article is to justify the factors that influence the planning and conduct of radio-electronic intelligence.

### Presentation of the main material

The essence of the planning of radio-electronic intelligence is to elaborate on a detailed elaboration of all issues related to the combat use of radio-electronic intelligence forces and devices, and to develop measures for their effective combat use in order to ensure disclosure:

- changes in operational and radio electronic environment;
- signs of direct preparation for the resolution of war (the beginning of military action) or a change in their form (excluding the suddenness of the enemy's actions);
- intelligence data necessary for solving the tasks.

Consider the factors that affect the overall effectiveness of planning and conducting radio-

electronic intelligence. They conditionally can be divided into external and internal.

External factors include:

- composition, character, forms and methods of using the Armed Forces;

- active development of control systems of troops and armaments of the armed forces of the expatriate states measures to restrict the information space;

- radio-masking and secret control of troops.

Among the **internal factors** distinguish:

- the effectiveness of organization and conduction of intelligence;

- structure, capabilities of forces and intelligence (degree of technical equipment of extractive units);

- efficiency and flexibility of the management system of the extractive departments;

- staffing and level of preparation of mining and information-analytical subdivisions;

- ways of extraction and processing of intelligence information;

- level of automation of control points (CP) and extraction posts;

- the combat order of parts of the REI and the possibility of its rapid change, depending on the situation;

- organization of comprehensive support.

*Composition, nature, forms and methods of using armed forces*

In modern conditions, armed struggle covers the application of the all virtually spheres of human life. Scientific and technological progress undoubtedly extends in the military sphere, which, accordingly, affects contemporary views on the operational and combat use of the armed forces.

Developed in the leading countries of the world [5–8].

In the armed forces of the leading powers of the world, a **unified global network-centered system** is created to unite armies dispersed in a JWS (Joint Warfighting Space) and provides horizontal and vertical integration of forces and devices.

Leading military experts identified the main features of the war in the framework of the Net-Centric Warfare concept compared with the usual methods of warfare:

**the use of geographically dispersed forces** means that there is no need to redeploy forces, devices and personnel to the front line, or in areas close to the object being attacked or defending;

**the forces participating in the centrifugal wars are highly intellectual**, which means the possibility of their self-synchronization, autonomous functioning, independent decision-making on the use of the devices of defeat and the operational retargeting of the devices of damage in accordance with the changes in the combat situation;

**providing stable communication channels** between component elements of Net-Centric Warfare.

Conceptual generalized structure of the process of conducting a network-centric war is presented in fig. 1 [3].

*Development of communication systems and control of troops and weapons of the armed forces of the scattered states.*

Providing information superiority over enemy control systems, improving the quality of providing information and telecommunication services to the authorities is considered as one of the priority areas for increasing the combat capabilities of troops.

The analysis of the construction of communication systems of operational, operational and strategic parts of the management of Israel, Austria, Finland, Sweden shows that their common integration with the communication networks of civilian operators, the high level of branching and technical equipment of the stationary systems of military contacts' bunch

The military leadership of the Russian Federation (RF) as the main ways to improve communication systems sees the complex development of territorial communications systems (TCS) of the regions, construction of communication systems of general use (CSGU) associations that integrate all types of information exchange, automatic switching of channels and messages and secrecy of them with guaranteed stability. The main component of the CSGU will be the reference (transit) communication network, the high structural survivability of which will be achieved by providing the necessary density of the spatial coverage of the band of operational construction of the association troops.

In this way, the **characteristic features** of the development of communication and information systems of the armed forces of the leading countries today are as follows [9]:

- the application of the same architectural principles of network construction for all levels of the management system;

- application of the unified technical devices of communication and automation and standards at all levels (providing interoperability);

- provision of typical telecommunication services at all levels of the communication system: language, data (IP data), video (from low to high speed);

- the possibility of creating operational (situational) networks depending on the tasks set;

- creation of interconnected automated control systems capable of functioning in a single information space;

- widespread use of civil standards, protocols and technical solutions;

- observance of uniform (for NATO) standards, agreements and recommendations;

- ensuring the full integration of military and civilian systems and communication facilities;

- the use of communication lines leased to civilian agencies of NATO member countries.

Based on the analysis of the use of frequency bands for military communication systems, it should be noted that satellite communication systems (SCS) play an important role in ensuring reliable management of the Armed Forces both on the territory of the state and abroad.

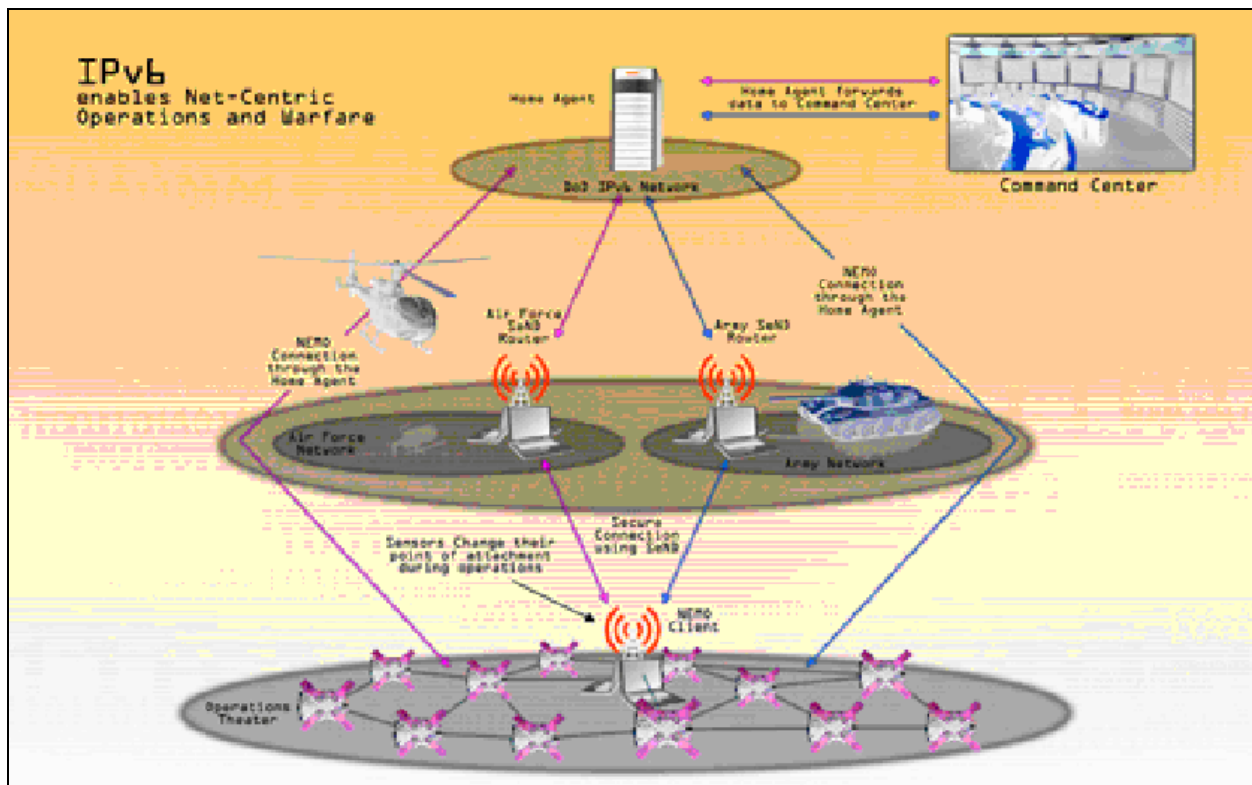


Fig. 1. Conceptual generalized structure of the process of conducting a network-centric war

In addition to the rental of channels for commercial aircrafts, the US Armed Forces (USA Army, United Kingdom, Britain, France, Italy, etc.) has developed, improved and developed new specialized Airborne Forces: NATO, DSCS, Flitsatcom, Afsatcom, Milstar, UFO, WGS, TSAT, MUOS, AEHF and others.

According to USA experts, existing program plans will not be able to meet all the needs of satellite communication channels.

These findings led to the development of a TCA (Transformational Communications Architecture), which should take effect no earlier than 2020.

The new architecture involves the use of several satellite systems for the organization of broadband access to information.

*The effectiveness of organization and conduct of intelligence*

In the context of the continuous development of the control systems of troops and weapons, intelligence-search activities are acquiring of paramount importance for the military part of the electronic intelligence.

At the same time, the main efforts of reconnaissance search in the SW and USW bands should focus on finding new sources of intelligence and exposing changes in the control and communications systems of the armed forces of the scattered states.

Particular attention should be paid to the implementation of all necessary measures to improve the search for informative channels of satellite communications, which are leased to ensure the functioning of state and military intelligence agencies.

In order to ensure the qualitative performance of reconnaissance search tasks, constant and clear search

guidance, planning of conducting search activities at the command post of the military part of the REI, a schedule of reconnaissance-search work and a model of reconnaissance-search work for the current year is developed.

During the operational and technical analysis of radio waves, there is a search for ways of providing hardware and information access to new sources of intelligence using sophisticated types of radio signals, developing recommendations for intercepting new sources of intelligence information of the observed, developing requirements for the necessary technical equipment with the devices of REI and methodical support for their application.

Improvement of the efficiency of the technical analysis units can be ensured due to their first-time equipment with the latest technical equipment of the REI, staffing by the most experienced specialists.

In order to ensure the effective implementation of the tasks of the flying service in the military part, it is necessary to carry out a complex of measures, which includes preparation of the allocated forces and devices for application, organization of high-quality and continuous work in the radio-lanagator network and hardware and software tools, carrying out with the established frequency of coverage of the antenna-feeder systems of all radio-detectors with control hubs, implementation of measures to increase the level of special training of personnel of flying sub-units and units of the radiotechnical intelligence, training of downlink operators and testing of tactical and technical characteristics of radio bearings by the devices of conducting in the radiolabeled network

networks a control over the radiation sources with known geographic coordinates, providing high-quality processing of the results of the glide by subsequent changes in command posts and officers responsible for the belting service, control and evaluation of the best service with summarizing the work and bringing it to the units involved in the tasks direction-finding service.

*Structure, capabilities of forces and the devices of reconnaissance (degree of technical equipment of extractive units)*

At the present stage of development of science and technology, radio-intelligence devices are most appropriate to be implemented on the basis of automated information extraction complexes (AIEC), which should combine the best modern achievements of microelectronics and software.

*Efficiency and flexibility of the management system of extraction units*

Successful execution of reconnaissance tasks in the course of REI conducting, including depends on well-thought-out, clearly organized and reliably functioning management and communication system.

It should provide a clear organization of processes for extracting and processing intelligence information, a report of the command data obtained, continuous interaction by the forces and devices.

*Complexity and level of preparation of mining and information-analytical subdivisions*

The quality of intelligence tasks depends on the training of the personnel involved in the extraction, processing and analysis of the results of the electronic intelligence.

Extractive units, technical analysis units, command post must be staffed with officers whose level of training provides for the fulfillment of combat missions in planning, organizing and conducting radio-electronic intelligence, timely extraction and prompt and correct processing of intelligence information, timely reporting of intelligence received to the command.

In addition to professional training as a radio engineer, a clear knowledge of system engineering, informatization, knowledge of a foreign language (first of all, command post officers) is required. In the current conditions, without knowledge of foreign languages, it is not possible to carry out qualitative tasks and engage with NATO Armed Forces.

*Methods of extracting and processing intelligence information*

The main ways of obtaining intelligence information in the REI is to receive radio frequencies and to determine the location of the electronic equipment of the armed forces of the scattered states. Radio interference interception includes [8]:

- the detection of emitting radio-electronic devices in the frequency range and in space;
- reception of detected radio emission;
- signal analysis;
- transfer of intelligence received for further processing.

The processing of intelligence information is carried out in order to transform certain detached

intelligence information into intelligence summaries that reveal the content of the issues identified as intelligence tasks.

During processing the following main tasks are solved:

- disclosure of the radio electronic situation in the intelligence band;
- identification of intelligence features that characterize the composition, state of combat readiness, organization, the character of activities and intentions of the Armed Forces of the scattered states;
- disclosure of intelligence objects based on technical recognition data, as well as their location, the purpose of the identified sources;
- clarification (confirmation) of the location of the sources (objects) of the REI on the basis of data acquisition, the results of the analysis of intercepted messages and other data;
- assessment of tactical and technical characteristics, composition, organization of the RED use and control systems and the provision of troops (forces) that are being deployed;
- identification of specific features (signs) of radiation;
- development of primary data for situational control of the forces and devices of the REI.

In order to increase the efficiency of the processes of extraction and processing of intelligence information, it is necessary to provide an automated collection of the results of interception and to implement a high-speed closed wire (computer) communication with peripheral and interacting parts, as well as with higher command post, which will allow collecting, processing of radio interception materials (results measuring parameters of RTD) and providing them with information to consumers in real time, to create a unified centralized database on communication systems, devices the RTD of the armed forces of the scattered states, to provide access to it to users who fill this base and use it to make a decision.

*Automation level of the control points and extraction posts*

One of the main requirements for intelligence processes is the automation of collecting, processing, storing and transmitting data to consumers.

It consists in the integrated use of modern methods, hardware and software-algorithmic devices of automation in the processes of extraction, collection, processing of intelligence information, control of forces and devices and should provide:

- management of the work of REI forces and devices in search, observation, location, etc;
- registration and processing of the obtained data;
- sorting of intelligence information on persistent signs and characteristics, the formation of databases, their accounting and storage;
- distribution of flows of intelligence received between the command post officers who process them;
- modeling, algorithmization and programming of the processes of the REI conducting;

– solving informational and settlement tasks related to the organization of REI, management of forces and devices, assessment of the effectiveness of their work;

– the transfer of intelligence information to consumers in real time.

Automation tools have to meet the information security requirements and provide the necessary level of protection against unauthorized access to information programs.

*The combat order of parts of the REI and the possibility of its rapid change, depending on the situation.*

One of the main factors influencing the efficiency of conducting radio-electronic intelligence is the combat order of the REI part and the possibility of its rapid change, depending on the situation.

In this case, the choice of areas of the location of intelligence tools cannot be made on a template that is suitable for all conditions of the situation. In each individual case, such a choice requires an artistic decision based on the specific circumstances of the situation, set goals for the organization and maintenance of the REI, the nature of the use of the communications and data transmission facilities in the armed forces of the states, the conditions for the distribution of radio waves, and the availability and capabilities. intelligence tools.

The choice of areas for the location of reconnaissance assets must be carried out in such a way as to ensure as far as possible the fulfillment of the requirements for combat orders, the main of which is the reliable identification of working sources, continuous intelligence, best positioning conditions and the maximum accuracy of the location of sources of REI sources, concentration the main exploration efforts on the main directions, the possibility of rapid maneuver by the forces and devices of radio-electronic intelligence and others.

*Organization of comprehensive support.*

Ensuring the military activity of the military part of the REI is organized and carried out in order to create favorable conditions for the successful implementation

of the set of intelligence tasks in any circumstances of the current situation.

Creation of such conditions is ensured through a series of measures of operational, material and technical, military support, etc.

### The conclusions from the article

In planning and conducting radio-electronic intelligence, a maneuverable group of radio-electronic intelligence from a part of a maneuverable unit (maneuver center or separate center) of the regional center of the REI during the conduct of battlefield intelligence is influenced by both the general factors that are listed earlier and the specific factors that are more common in the performance of intelligence tasks by the maneuverable group of REIs.

Factors that determine the objective capabilities of the RAI maneuverable group. These are factors such as:

the state and level of combat training and combat readiness of the personnel of the REI maneuverable group;

operational and technical capabilities of the facilities and complexes of the REI, the connection of the REI maneuverable group;

the need to move the REI maneuverable group;

fire influence of the enemy;

limitations that take into account the REI influence;

natural, meteorological, geographical conditions, etc.

The influence of these factors leads to an incomplete realization of the objective capabilities of the REI maneuverable group, and in a number of cases, and to their significant decrease. But, if the organization of electronic intelligence carries out a thorough analysis of all available factors, there is a possibility of impossibility or reduction of their negative impact.

Taking into account the above, the direction of further research should be considered the development of a scientific and methodical apparatus for improving the efficiency of the radio-electronic intelligence conducting by maneuvering groups of radio-electronic intelligence, taking into account various factors.

### REFERENCES

1. Alimpiyev, A.M. and Pevtsov, G.V.(2017). “Features of the hybrid war against the Russian Federation. Experience gained by the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine”, Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, No. 2(27), pp. 19-25. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.27.03>.
2. Bogdanovich, V.Yu., Svida, I.Yu. and Syrotenko, A.M.(2018). “The concept of the integrated use of military and non-military forces and means to ensure a sufficient level of military security of the state ”, Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, No. 2(31), pp. 16-29. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.31.02>.
3. Shyshatskiy, A.V., Bashkirov, O.M. and Kostina, O.M (2015). “Development of integrated systems and data for Armed Forces”, Arms and military equipment, No 1(5), pp. 35-40. available at: <http://journals.uran.ua/index.php/2414-0651/issue/view/1%285%29%202015> (last accessed november 25, 2018).
4. Hatsenko, S.S.(2017). “Methodology for assessing the operational situation in automated control systems of troops under uncertainty”, Science and Technology of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, No. 1(26), pp. 101-105. <https://doi.org/10.30748/nitps.2017.26.21>.
5. Zhuk, O.G., Shyshatskiy, A.V., Zhuk, P.V. and Zhyvotovskiy, R.M (2017). “Methodological substances of management of the radio-resource managing systems of military radio communication”, Information Processing Systems, Vol. 5(151), pp. 16-25. <https://doi.org/10.30748/soi.2017.151.02>.
6. Kuvshinov, O.V., Shyshatskiy, A.V., Lyutov, V.V and Zhuk, O.G.(2017). “Analysis of ways for increasing the secrecy of broadband radiocommunication systems ” Scientific works of Kharkiv National University of Air Forces, No. 1(50), pp. 24-28.

7. Popov, A.O., Tverdokhlibov, V.V.(2014). "General tendencies of development of means of electronic warfare", Arms and military equipment, No. 4 (4), pp. 4-10.
8. Serhiienko, V.D., Popov, A.O., Zibin, S.D., Bychkov, A.N., Pidhorodetskiy, M.M (2017). "Analysis of the state of the art of multifunctional electronic warfare means and complexes." Modern Information Technologies In the sphere of security and defence, No.1(28), pp.135-143.
9. Romanenko, I and Shyshatskiy, A (2017). "Analysis of modern condition of military radiocommunication system", Advanced Information Systems, Vol. 1, No. 1, pp. 28-33 DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.1.05>.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г. В. Худов,

Український державний університет залізничного транспорту, Харків

Надійшла (received) 22.11.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 23.01.2019

### **Обґрунтування чинників, які впливають на планування і ведення радіоелектронної розвідки**

I. Ю. Яхно, О. С. Малик, С. С. Гаценко, А. В. Шишацький

Воєнно-політична обстановка навколо України характеризується високою динамічністю і нестабільністю подій та процесів. На фоні зазначеного основним завданням Збройних Сил України на сучасному етапі розбудови є активізація розвідки з метою своєчасного попередження вищого керівництва України про можливу збройну агресію Російської Федерації, приведення у вищі ступені бойової готовності її військ (сил), попередження активним діям незаконних збройних формувань. Забезпечення інформаційної переваги над противником на сьогодні стає основною умовою для ведення воєнних операцій. Основним видом інформаційного забезпечення є воєнна розвідка, а її основою – радіоелектронна розвідка. Авторами зазначеного дослідження було проведено аналіз впливу зовнішніх та внутрішніх факторів що впливають на ефективність ведення радіоелектронної розвідки. В ході дослідження авторами були використані основні положення теорії радіоелектронної розвідки, теорії зв'язку, теорії радіоелектронної боротьби, теорії сигналів та загальнонаукові методи аналізу та синтезу. За результатами проведеного дослідження можна зробити висновки про те, що на ефективність ведення радіоелектронної розвідки впливає: стан та рівень бойової підготовки і бойової готовності особового складу маневреної групи радіоелектронної розвідки; оперативно-технічні можливості засобів і комплексів радіоелектронної розвідки та зв'язку маневреної групи; необхідність переміщення маневреної групи радіоелектронної розвідки; вогневий вплив противника; обмеження, що враховують вплив засобів радіоелектронної боротьби; природні, метеорологічні, географічні умови і та інш. Вплив перерахованих чинників приводить до неповної реалізації об'єктивних можливостей маневреної групи радіоелектронної розвідки, а у ряді випадків і до їх значного зниження. Враховуючи зазначене, напрямком подальших досліджень слід вважати розробку науково-методичного апарату підвищення ефективності ведення радіоелектронної розвідки маневреними групами радіоелектронної розвідки.

**Ключові слова:** система радіозв'язку, радіоресурс, заводозахисеність, радіоелектронне подавлення, радіоелектронна розвідка, скритність.

### **Обоснование факторов, влияющих на планирование и ведение радиоэлектронной разведки**

И. Ю. Яхно, О. С. Малик, С. С. Гаценко, А. В. Шишацкий

Военно-политическая обстановка вокруг Украины характеризуется высокой динамичностью и нестабильностью событий и процессов. На фоне указанного основной задачей Вооруженных Сил Украины на современном этапе развития является активизация разведки с целью своевременного предупреждения высшего руководства Украины о возможной вооруженной агрессии Российской Федерации, приведение в высшие степени боевой готовности ее войск (сил), предупреждения активных действий незаконных вооруженных формирований. Обеспечение информационного превосходства над противником на сегодня становится основным условием для ведения военных операций. Основным видом информационного обеспечения является военная разведка, а ее основой - радиоэлектронная разведка. Авторами указанного исследования был проведен анализ влияния внешних и внутренних факторов на эффективность ведения радиоэлектронной разведки. В ходе исследования авторами были использованы основные положения теории радиоэлектронной разведки, теории связи, теории радиоэлектронной борьбы, теории сигналов и общенаучные методы анализа и синтеза. По результатам проведенного исследования можно сделать выводы о том, что на эффективность ведения радиоэлектронной разведки влияет: состояние и уровень боевой подготовки и боевой готовности личного состава маневренной группы радиоэлектронной разведки; оперативно-технические возможности средств и комплексов радиоэлектронной разведки и связи маневренной группы; необходимость перемещения маневренной группы радиоэлектронной разведки; огневое воздействие противника; ограничения, учитывающие влияние средств радиоэлектронной борьбы; природные, метеорологические, географические условия и др. Влияние перечисленных факторов приводит к неполной реализации объективных возможностей маневренной группы радиоэлектронной разведки, а в ряде случаев и к их значительному снижению. Учитывая указанное, направлением дальнейших исследований следует считать разработку научно-методического аппарата повышения эффективности ведения радиоэлектронной разведки маневреними группами радиоэлектронной разведки.

**Ключевые слова:** система радиосвязи, радио ресурс, помехозащищенность, радиоэлектронное подавления, радиоэлектронная разведка, скритность.

## АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Андрашов А. О.	103	Кононов Б. Т.	65	Романов О. І.	137
Андреев С. М.	3	Коржов І. М.	70	Руденко В. М.	41
Артеменко А. М.	60	Кочкар Д. О.	22	Сакович Л. М.	153
Атрасевич О. В.	27	Краснобаєв В. А.	120	Сальніков Д. В.	158
Багрій М. М.	90	Криховецький Г. Я.	153	Семенов С. Г.	116
Боряк Б. Р.	45	Кропачек О. Ю.	70	Сергієнко В. Д.	142
Буравченко К. О.	17	Кузавков В. В.	77	Сироїжка І. О.	129
Бутенко О. С.	17	Кузнецов О. Л.	60	Скородєлов В. В.	55
Васильченков О. Г.	158	Кулік А. С.	81	Сторчак В. С.	41
Гавриленко С. Ю.	107	Левченко Л. О.	90	Суліма С. В.	137
Гаценко С. С.	162	Лісогорський Б. А.	94	Таран І. А.	94
Глива В. А.	32	Малик О.С.	162	Тарасюк Р. М.	50
Глоба Л. С.	137	Матвієнко А. А.	65	Тецький А. Г.	133
Гордєєв О. О.	103	Мезенцев М. В.	55	Тимошенко О. П.	32
Гордійчук В. В.	142	Мигущенко Р. П.	70	Тихенко О. М.	32
Гришманов Є. А.	36	Міщенко А. О.	142	Триш Р. М.	99
Данілов Ю. А.	36	Могілатенко А. С.	36	Філь І. В.	120
Демиденко М. І.	112	Морозова О. І.	125	Харченко В. С.	103
Денисенко А. М.	99	Мусаїрова Ю. Д.	65	Хижняк І. А.	27
Дергачов К. Ю.	81	Небесна Я. Е.	153	Худов Г. В.	94
Дмитрієв О. М.	129	Немшилов Ю. О.	81	Цвященко К. А.	17
Єрмілова Н.В.	50	Нестеренко К. С.	129	Черняк О. М.	99
Жилін В. А.	3	Нікітін А. А.	17	Шарабайко О. М.	129
Заповольський М. Й.	55	Нікітіна Т. С.	125	Шишацький А. В.	142, 162
Льїн Д. О.	116	Ніколаєв К. Д.	32	Шумейко В. О.	27
Карлов А. Д.	60	Пасічник С. М.	81	Щапов П. Ф.	70
Карлов В. Д.	60	Подліпаєв В. О.	27	Янко А. С.	120
Кислиця С. Г.	50	Поздняков П. В.	142	Яхно І. Ю.	162
Князєв О. А.	147	Рагулін С. В.	129		
Коваленко А. А.	103	Редзюк Є. В.	77		

Наукове видання

## СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ, НАВІГАЦІЇ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Збірник наукових праць

Випуск 1 (53)

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. Льїна*

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

Підписано до друку 07.02.2019. Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 21,0. Тираж 150 прим. Зам. 207-19

Адреса редакції: Україна, 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, тел. (066) 706-18-30

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.

Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.

Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широїнівців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34

e-mail: [bookfabrik@mail.ua](mailto:bookfabrik@mail.ua)