

# Наукові праці

Видається з грудня 2001 року

Науково-методичний журнал



Серія

«КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Випуск 275, 2016

Том 287

Наказом МОН України від 06.03.2015 року № 261  
цей журнал включено до переліку наукових фахових видань  
з комп'ютерних наук, у яких можуть публікуватися результати  
дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Засновник видання –  
Національний університет  
«Києво-Могилянська  
академія».

Видання засноване у 2001 р.  
Свідоцтво КВ № 5817 від 30.01.2002 р.

**Перереєстрація:**

Засновник видання –  
Миколаївський державний  
гуманітарний університет  
ім. Петра Могили  
Свідоцтво КВ № 9506 від 14.01.2005 р.

**Перереєстрація:**

Засновник видання –  
Чорноморський державний  
університет ім. Петра Могили  
Свідоцтво КВ № 15281-3853ПР  
від 10.04.2009 р.

Рекомендовано до друку та поширення  
мережею Інтернет  
рішенням вченої ради  
Чорноморського національного  
університету ім. Петра Могили  
(протокол № 4 від 08.12.2016 р.)

**РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧА РАДА**

<b>Клименко Л. П.</b>	голова редакційно-видавничої ради, головний редактор журналу «Наукові праці», доктор технічних наук, професор, ректор ЧНУ імені Петра Могили
<b>Беглиця В. П.</b>	заступник голови редакційно-видавничої ради, заступник головного редактора журналу «Наукові праці», доктор наук з державного управління, доцент, проректор з наукової роботи ЧНУ імені Петра Могили
<b>Ємельянов В. М.</b>	голова редколегії серії «Державне управління», доктор наук з державного управління, професор
<b>Іванов М. С.</b>	голова редколегії серії «Політологія», доктор політичних наук, професор
<b>Мещанинов О. П.</b>	голова редколегії серії «Педагогіка», доктор педагогічних наук, професор
<b>Горлачук В. В.</b>	голова редколегії серії «Економіка», доктор економічних наук, професор
<b>Грбак Н. Х.</b>	голова редколегії серії «Екологія», доктор сільськогосподарських наук, професор, старший науковий співробітник
<b>Матвєєва Н. П.</b>	голова редколегії серії «Філологія. Мовознавство», доктор філологічних наук, професор
<b>Григор'єва Л. І.</b>	голова редколегії серії «Техногенна безпека. Радіобіологія», доктор біологічних наук, професор
<b>Пронкевич О. В.</b>	голова редколегії серії «Філологія. Літературознавство», доктор філологічних наук, професор
<b>Тригуб П. М.</b>	голова редколегії серії «Історія», доктор історичних наук, професор, академік УАІН
<b>Гавеля В. Л.</b>	голова редколегії серії «Соціологія», доктор філософських наук, професор
<b>Січко Д. С.</b>	голова редколегії серії «Юриспруденція», кандидат юридичних наук, доцент
<b>Фісун М. Т.</b>	голова редколегії серії «Комп'ютерні технології», доктор технічних наук, професор, старший науковий співробітник, дійсний член УАІН
<b>Андрєєв В. І.</b>	відповідальний секретар журналу «Наукові праці», кандидат технічних наук, доцент

**№ 34**

**Наукові праці** : Науково-методичний журнал. – Вип. 275. Т. 287. Комп'ютерні технології. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2016. – 152 с.

У журналі представлено результати наукових робіт дослідників з різних регіонів України. Проблематика статей досить широка і торкається різноманітних теоретичних та прикладних аспектів сучасних комп'ютерних технологій.

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ СЕРІЇ**

1. **Фісун Микола Тихонович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв) – *голова редакційної колегії серії «Комп'ютерні технології»*;
2. **Бідюк Петро Іванович** – доктор технічних наук, професор Інституту прикладного системного аналізу (ННК ІПСА) (м. Київ) – *заступник голови редакційної колегії серії «Комп'ютерні технології»*;
3. **Гожий Олександр Петрович** доктор технічних наук, доцент, в.о. професора кафедри комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету ім. Петра Могили (м. Миколаїв) – *відповідальний секретар редакційної колегії серії «Комп'ютерні технології»*;
4. **Глибовець Микола Миколайович** – доктор фізико-математичних наук, професор, декан факультету інформатики НаУКМА (м. Київ);
5. **Данилов Валерій Якович** – доктор технічних наук, професор кафедри математичних методів системного аналізу Інституту прикладного системного аналізу (ННК ІПСА НТУУ «КПІ») (м. Київ);
6. **Дихта Леонід Михайлович** – доктор технічних наук, професор кафедри прикладної та вищої математики Чорноморського національного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв);
7. **Коваленко Ігор Іванович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адм. Макарова (м. Миколаїв);
8. **Кондратенко Юрій Пантелійович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв);
9. **Кутковецький Валентин Якович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв);
10. **Малахов Свєген Валерійович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри математичного забезпечення комп'ютерних наук Одеського національного університету імені І. І. Мечникова (м. Одеса);
11. **Мещанинов Олександр Павлович** – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв);
12. **Мусієнко Максим Павлович** – доктор технічних наук, професор, декан факультету комп'ютерних наук Чорноморського національного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв);
13. **Приходько Сергій Борисович** – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адм. Макарова (м. Миколаїв);
14. **Хомченко Анатолій Никифорович** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри прикладної та вищої математики Чорноморського національного університету імені Петра Могили (м. Миколаїв).

**ISSN 2311-1682**

Включено до Міжнародної науково-метричної бази даних Ulrichsweb (Ulrich's Periodicals Directory)

© Чорноморський національний університет імені Петра Могили, 2016

**АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:**

54003, м. Миколаїв,  
вул. 68 Десантників, 10  
Тел.: (0512) 76-55-99, 76-55-81,  
факс: 50-00-69, 50-03-33,  
E-mail: avi@chmnu.edu.ua

# ЗМІСТ

---

<i>Фісун М. Т.</i> Когнітивний аналіз структури навчального плану.....	5
<i>Бойко А. П., Бондаренко А. В.</i> Застосування генетичного алгоритму для оптимізації характеристик суден з малою площею ватерлінії.....	13
<i>Крайник Я. М., Гайван В. Ю., Килимович О. О.</i> Розробка low-cost мультимедійного навчального класу.....	20
<i>Накул Ю. А., Стовманенко В. О.</i> Модель системи завантаження крупнотонажних суден.....	27
<i>Белозьоров Ж. О.</i> Аналіз та реалізація алгоритму обчислення координат пострілу на базі мобільного пристрою у взаємодії з БПЛА.....	34
<i>Самойленко Є. Є.</i> Алгоритми операцій над матрицями-ортопроекторами з $M_n(C)$ .....	41
<i>Голобородько А. М.</i> Адаптивна система управління високовольтним пристроєм для очистки лиття на базі нейро-нечіткого регулятора.....	48
<i>Дворецький М. Л., Боровльова С. Ю., Давиденко Є. О.</i> Проектування структури розподіленої БД на базі парсингу sql-запитів.....	53
<i>Ляпун Д. А., Ситников В. С.</i> Исследование компьютерной системы управления платформой на мобильном объекте.....	62
<i>Стрельцов О. В., Ляшенко А. І.</i> Модель підтримання рівноваги антропоморфного робота.....	68
<i>Максименко Ю. А.</i> Підвищення ефективності функціонування системи дистанційних технічних засобів розвідки за рахунок визначення часу впізнавання засобів протидії.....	74
<i>Никольский М. В., Бережной К. Ю.</i> Пьезоэлектрический вискозиметр.....	78
<i>Максименко А. О., Ситніков В. С.</i> Побудова на нечіткій логіці комп'ютерної системи автоматичного управління об'єктом, що має обмежені обчислювальні й енергетичні ресурси.....	83
<i>Ситников В. С., Олейников К. С.</i> Повышение эффективности мобильной системы мониторинга лесного пожара.....	89
<i>Погромська Г. С.</i> Моделювання складних систем на основі визначення базових принципів аутопойезису.....	93
<i>Скалозуб В. В., Ситников В. С., Яковлев Д. П.</i> Цифровые сертификаты для владельцев мобильных телефонов.....	100

<b>Стрельцов О. В., Качур О. М.</b> Застосування методів машинного навчання в задачі автоматизації свердління.....	106
<b>Хімиченко І. В.</b> Найближчий доменний блок як основа фрактального стиснення зображення .....	111
<b>Стрельцов О. В., Войтов В. М.</b> Исследование методов аутентификации пользователя по клавиатурному почерку.....	116
<b>Бурлаченко І. С., Довгенко О. Є.</b> Модель комунікативної трансформації поведінки компонентів при мультиагентній організації мережевих систем .....	125
<b>Коваленко Т. В.</b> Моделі і методи обробки цифрових текстурних зображень в системах аерокосмічного моніторингу .....	132
<b>Куценко С. В., Бакарджисєв Р. О., Корецька О. О., Мусієнко М. П.</b> Метод розміщення сповіщувачів провідно-безпровідної системи пожежної сигналізації всередині будівлі .....	139
<b>Хнюнін С. Г.</b> Функціональне та схемотехнічне моделювання п'єзоперетворювачів для визначення ефекту Коанда .....	145

## КОГНІТИВНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУРИ НАВЧАЛЬНОГО ПЛАНУ

*Запропоновано і створено базу даних навчального плану (БДНП), в якій крім характеристик дисциплін із самого плану, ще й додаються характеристики дисциплін, що містяться в робочих навчальних програм (РНП) дисциплін. Така БДНП дозволяє створити інформаційно-аналітичну систему для завідувача, методиста і викладачів випускової кафедри. Крім того, використовуючи інформацію з РНП про дисципліни, на яких базується ця дисципліна, та опанування яких дисциплін вона забезпечує, створена БДНП дозволяє виконувати своєрідний когнітивний аналіз навчального плану. Розглянуто такі задачі аналізу, як взаємна узгодженість між дисциплін по «входах-виходах» та визначення центральності графа СЛС.*

**Ключові слова:** навчальний план; структурно-логічна схема; когнітивна карта.

Загальна постановка проблеми та її зв'язок з науково-практичними задачами. Навчальні плани вищих навчальних закладів (ВНЗ) розробляються у відповідності до нормативних документів, у тому числі таких галузевих стандартів вищої освіти (ГСВО) «Освітньо-професійна програма» (ОПП) і «Освітньо-кваліфікаційна характеристика» (ОКХ) [1, 2]. Разом з навчальним планом має бути розроблена і структурно-логічна схема (СЛС) навчального плану (НП).

Структурно-логічна схема НП представляє собою упорядковану послідовність викладання дисциплін навчального плану, що забезпечує методологічно правильну послідовність викладання дисциплін таким чином, щоб викладання матеріалу певної дисципліни вже було забезпечено засвоєння матеріалу попередньої дисципліни. СЛС НП зазвичай представляють у вигляді оргграфа, в якому вершинами є дисципліни, а дугами – зв'язки між дисциплінами. СЛС дозволяє правильно встановити послідовність викладання дисциплін у часі. Але у більшості випадків на цьому і закінчується використання такої схеми, в той час як для аналізу структури навчального плану та якості взаємозв'язків між дисциплінами на базі СЛС можна використати моделі, побудовані на графах, у тому числі когнітивне моделювання. Одним із напрямів застосування когнітивного моделювання є побудова когнітивної карти (КК). Вона призначена для виявлення структури причинних зв'язків між елементами складного об'єкта і оцінки наслідків зовнішніх впливів на елементи і зв'язки між ними. Елементи досліджуваної системи представлені набором вершин графа, зв'язки – множиною спрямованих дуг, яким можуть бути присвоєні знаки, що визначають характер впливу. В цій статті розглядаються питання побудови більш змістовного графа взаємозв'язків дисциплін навчального плану та застосування на його ос-

нові операції на графах з позицій когнітивного аналізу.

Огляд публікацій та аналіз невирішених питань. У більшості сучасних ВНЗ снують інформаційно-управляючі системи, що автоматизують інформаційні процеси управління навчальним процесом. При цьому існують такі, що автоматизують певне обмежене коло задач [3, 4] і такі, що претендують на комплексні, інтегровані інформаційні системи. Аналіз наведених вище т деяких інших публікацій щодо структури і змісту баз даних таких систем показує, що в них відсутні засоби моделювання СЛС НП та їх системного аналізу, тому обрана тема дослідження є *актуальною*.

Метою дослідження є створення бази даних навчального плану, що дозволяє крім інформаційно-аналітичних засобів моделювати СЛС НП ще й виконувати її когнітивний аналіз.

**Результати досліджень.**

Проектування бази даних. Оскільки крім самої СЛС для аналізу навчального плану нам будуть потрібні деякі характеристики НП, то доцільним вважаємо спроектувати відповідну базу даних. На основі аналізу ОКХ, ОПП, навчального плану виділяємо такі сутності:

- цикли дисциплін;
- дисципліни відповідно до освітньо-професійної програми (ОПП);
- знання, які мають отримати студенти з робочої навчальної програми (РНП);
- уміння, якими мають володіти студенти з РНП;
- розділи (модулі) дисципліни з РНП.

Примітка. РНП складається на базі ГСВО ОПП і ОКХ. Діаграму ERD «сутність-зв'язок» [5] бази даних наведено на рис. 1.



Рис. 1. Схема взаємозв'язків сутностей (ERD) бази даних для СЛС

**Примітка.** Лінії зі стрілочкою наприкінці означають тип зв'язку 1:N, де N на боці стрілочки.

Особливістю наведеної ERD є наявність двох рекурсивних зв'язків сутності «Дисципліни», за одним з яких відображаються «вхідні», а другим – «вихідні» дисципліни

Визначимо зміст сутностей ER-діаграми. Головна сутність «Дисципліни» має атрибути «Код дисципліни», «Назва дисципліни», «Обсяг дисципліни». У свою чергу, ця сутність має рекурсивний зв'язок типу один до багатьох з «вхідними» та «вихідними» дисциплінами. Сутність «Знання з РНП» має атрибути «Код знання з РНП» та «Зміст знання з РНП». Сутність «Уміння з РНП» має атрибути «Код умінь з РНП» та «Зміст умінь з РНП». Сутність «Розділи дисциплін» має атрибути «Шифр розділу», «Назва розділу» та «Обсяг розділу». Сутність «Цикл дисциплін» має атрибути «Код циклу» та «Назва циклу».

На фізичному рівні засобами СКБД Access модель БД СЛС представлено на рис.2. Наведена база даних

дозволяє сформулювати і розв'язувати низку інформаційно-аналітичних задач, зокрема:

- знання, які мають отримати студенти після засвоєння теоретичного матеріалу;
- уміння, які мають набути студенти після практичні лабораторних занять;
- розділи (змістові модулі), з яких складається дисципліна;
- посилання на дисципліни, які потрібні для засвоєння певної дисципліни;
- посилання на дисципліни, які забезпечує ця дисципліна;
- період викладання дисципліни;
- обсяги дисциплін по циклах;
- перевірка на близькість знань/умінь за певними шаблонами та багато інших.

На рис. 3. наведено одну з форм, створених над цією БД.

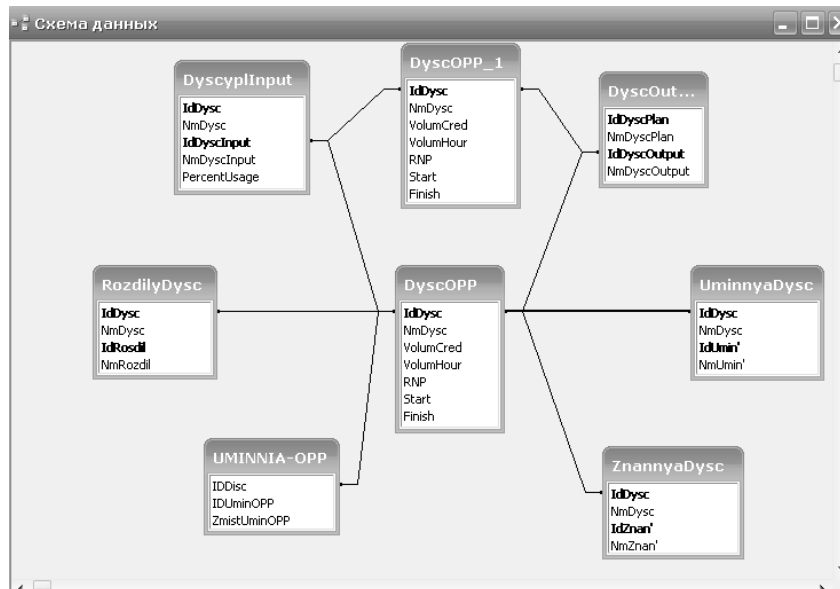


Рис. 2. Фізична модель даних СЛС НП

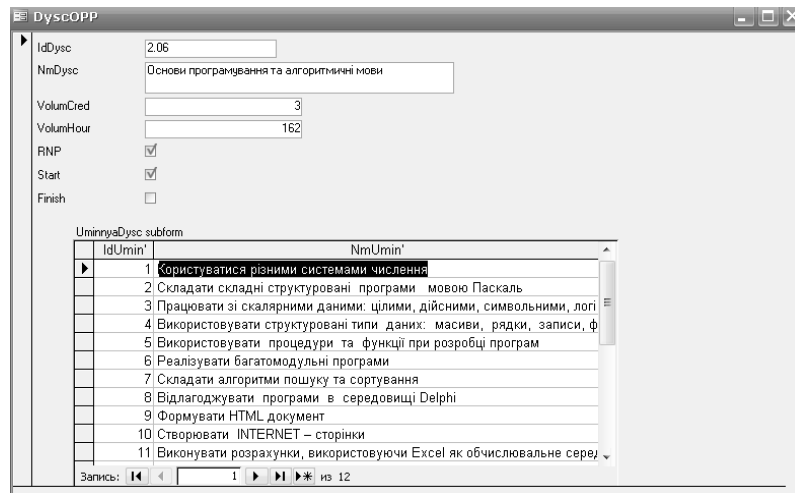


Рис. 3. Дворівнева форма для пошуку умінь певної дисципліни

Але наведена БД СЛС дозволяє сформулювати і розв’язувати іншу низку задач, які можна віднести до когнітивного аналізу [6,7], а сам граф СЛС можна вважати варіантом когнітивної карти.

Когнітивна модель заснована на формалізації причинно-наслідкових зв’язків між характеристиками досліджуваної системи. Результатом формалізації є представлення системи у вигляді причинно-наслідкової мережі, званої когнітивною картою, що може бути представлена у вигляді графа:

$$G = \langle F, R \rangle,$$

де  $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$  – множина факторів (званих також концептами);

$R$  – бінарне відношення на множині  $F$ , яке задає набір зв’язків між його елементами.

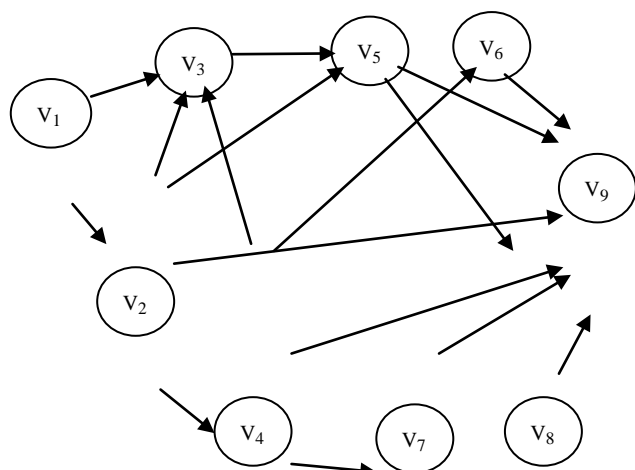
Елементи  $f_i$  і  $f_j$  вважаються пов’язаними відношенням  $R$  (позначається  $f_i R f_j$  або  $(f_i, f_j) \in R$ ), якщо зміна значення концепту  $f_i$  (причини) призводить до зміни значення концепту  $f_j$  (наслідку). Відповідно до термінології когнітивного моделюван-

ня в цьому випадку говорять, що концепт  $f_i$  впливає на концепт  $f_j$ .

Якщо збільшення значення концепту-причини призводить до збільшення значення концепту-наслідку, то вплив вважається позитивним («посилення»), якщо ж значення зменшується – негативним («гальмування»). Тим самим відношення  $R$  можна представити у вигляді об’єднання двох підмножин, що не перетинаються:  $R = R^+ \cup R^-$ , де  $R^+$  – множина позитивних,  $R^-$  – множина негативних зв’язків. Виходячи з припущення, що в СЛС немає негативних впливів однієї дисципліни на інші, пропонується такі дослідження графа СЛС. На рис. 4 показано фрагмент графа СЛС одного з варіантів навчального плану за напрямом підготовки «Комп’ютерні науки», розробленого цикловою комісією випускової кафедри. Фрагмент СЛС представлено як в матричному виді (рис. 4а), так і у вигляді орграфу (рис. 4б). Будемо вважати, що на усіх дугах графа стоїть символ «+», який у матриці замінимо на цифру «1», що дозволить проводити певні розрахунки для аналізу СЛС.

	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>
1		1	1						
2			1	1	1				1
3					1				
4			1			1	1		1
5								1	1
6									1
7									1
8									1
9									

а)



б)

Рис. 4. Фрагмент структурно-логічної схеми навчального плану

На рисунку 4 наведено такі позначення дисциплін у якості вершин графа.

- V<sub>1</sub> – Базові офісні інформаційні техноло
- V<sub>2</sub> – Основи програмування й алгоритмічні мови.
- V<sub>3</sub> – Структури і організація даних.
- V<sub>4</sub> – Об'єктно-орієнтоване програмування.
- V<sub>5</sub> – Організація баз даних і знань.
- V<sub>6</sub> – Системне програмування і операційні системи.
- V<sub>7</sub> – Об'єктно-орієнтована методологія створення комп'ютерних систем.
- V<sub>8</sub> – Розподілені бази даних.
- V<sub>9</sub> – Технологія створення програмних продуктів.

Позначимо представлену вище матрицю графа СЛС через  $M_{norm}$ , тобто будемо вважати її як нормативну. У процесі розробки навчальних програм викладачі дисциплін мають наводити такі обов'язкові пункти, як посилання на дисципліни, на яких базується

	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>
V <sub>1</sub>		1	1						
V <sub>2</sub>			1	1					1
V <sub>3</sub>					1				
V <sub>4</sub>			1			1	1		1
V <sub>5</sub>								1	1
V <sub>6</sub>									1
V <sub>7</sub>									1
V <sub>8</sub>									1
V <sub>9</sub>									

а)

ця дисципліна, і посилання на дисципліни, які забезпечує ця дисципліна. Зрозуміло, що при великій кількості дисциплін (до 50) і при вузькій спеціалізації викладачів (в середньому 12–15 викладачів на навчальний план підготовки бакалаврів) завідувачу кафедри або уповноваженому за узгодженість дисциплін важко вручну відстежити узгодженість зв'язків між дисциплінами.

Запропонована база даних (рисунки 2 і 3) дозволяє побудувати два варіанти графа СЛС. Один граф будується на даних з таблиці *DyscypInput*, другий граф – на даних з таблиці *DyscypOutput*. На рис. 4а для того ж фрагменту СЛС одного з варіантів навчального плану наведено матрицю, побудовану на базі таблиці *DyscypInput*, а на рис. 4б – на базі таблиці *DyscypOutput*. В отриманих матрицях відмічені комірочки, значення в яких відрізняються від значень в комірках матриці  $M_{norm}$ .

	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>9</sub>
V <sub>1</sub>		1							
V <sub>2</sub>			1	1	1				1
V <sub>3</sub>					1				
V <sub>4</sub>			1				1		1
V <sub>5</sub>								1	1
V <sub>6</sub>									1
V <sub>7</sub>									1
V <sub>8</sub>									1
V <sub>9</sub>									

б)

Рис. 4. Матриці графів СЛС на основі інформації з РНП

Оскільки вершинами графа є одні й ті ж дисципліни, то вони мають тотожну топологію як між собою, так і з нормативним графом. Звідси випливає, що матриці цих графів  $M_{norm}$ ,  $M_{input}$  і  $M_{output}$  мають однакову розмірність і тому над ними можна виконувати операції над матрицями, зокрема операції віднімання.

Наприклад, якщо виконати операцію  $M_{norm} - M_{input}$ , то отримаємо матрицю з пустими (нульовими) комірками крім  $V[2,4] = V[5,9] = 1$ . Це означає, що в РНП дисципліни V<sub>4</sub> не вказано, що дисципліна V<sub>2</sub> є «вхідною» для неї, а в РНП дисципліни V<sub>9</sub> не вказано, що дисципліна V<sub>5</sub> є «вхідною» для неї.

Якщо виконати операцію  $M_{norm} - M_{output}$ , то тільки  $V[1,3] = V[4,6] = V[7,9] = 1$ , інші будуть нульовими. Це означає, що в РНП дисциплін V<sub>1</sub>, V<sub>4</sub> та V<sub>7</sub> не вказано, що знання і уміння цих дисциплін забезпечують опанування дисциплін V<sub>3</sub>, V<sub>6</sub> та V<sub>9</sub> відповідно.

Операції  $M_{output} - M_{input}$  та  $M_{input} - M_{output}$  дозволяють виявити неузгодженості «вихід-вхід» і «вхід-вихід» відповідно.

Не виключено, що крім «втрачених» зв'язків в РНП можуть бути вказані нові зв'язки. Усе це є предметом узгодження РНП безпосереднє як між виклада-

чами суміжних дисциплін, так і на методичній раді випускової кафедри і, навіть, факультету, якщо не вдається узгодити РНП між викладачами різних кафедр.

Для більш глибокого аналізу на основі когнітивної карти на зв'язках (на дугах графа) можуть задаватися як лінгвістичні (якісні) показники, так числові величини. У статті СЛС НП будемо розглядати як когнітивну карту з числовими величинами. У якості таких в даному дослідженні пропонується використати експертну оцінку впливу  $p_{ij}$ . Оцінка має базуватися на визначенні і аналізі розділів РНП попередніх дисциплін, що використовуються в дисципліні, що розглядається. Для цього в дослідженні прийнята 100-бальна метрика, що асоціюється з відсотковим впливом однієї дисципліни на іншу. Цей відсоток визначається експертним шляхом. До групи експертів мають входити, як мінімум, викладач даної дисципліни, викладач дисципліни, яку забезпечує ця дисципліна, і завідувач кафедри. На рис. 5 наведено приклад фрагменту зваженого графу СЛС. На представленому графі шифри вершин є шифрами дисциплін навчального плану.



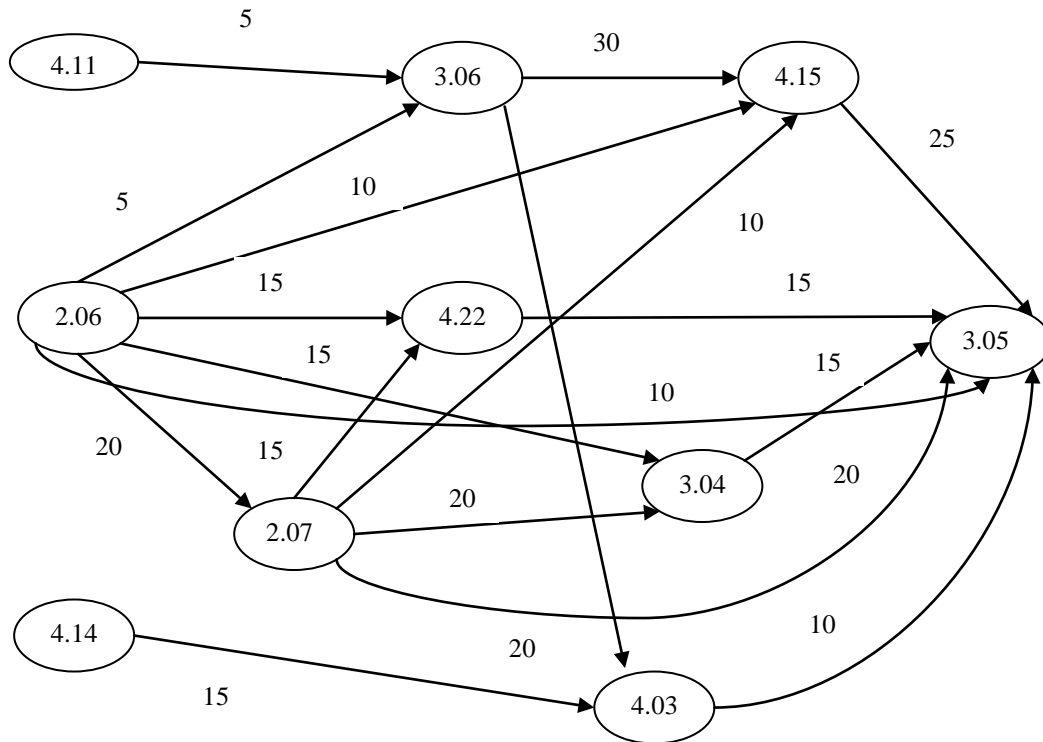


Рис. 5. Зважений граф впливу дисциплін згідно СЛС НП

Для когнітивного аналізу СЛС на основі створеної бази даних можна запропонувати, наприклад, такі задачі:

- визначення кількості та назви дисциплін, що впливають на дану дисципліну;
- загальні міри впливу усіх дисциплін на дану дисципліну;
- дисципліни з малим впливом на інші дисципліни навчального плану;
- дисципліни з великим впливом на інші дисципліни навчального плану та інші.

Для розв’язання цих задач необхідно ввести відповідні метрики.

Крім зазначених ряд корисних задач можна розв’язувати, якщо увести поняття довжини шляху між вершинами  $L_{ij}$ . За таку міру логічно прийняти величину, зворотну мірі впливу.

$$Long = \frac{1000}{VolHour * Percent / 100} = \frac{100000}{VolHour * Percent}$$

Примітка. Коефіцієнт 1000 обрано таким чином, щоб числа, що представляють довжини шляхів, легше сприймалися.

Зробивши відповідні запити до бази даних, отримаємо значення довжин шляхів графа попереднього графа, які наведено на рис. 6.

У відповідності до алгоритму Флойда-Фолкірсона [8] довжини мінімальних шляхів між усіма парами вершин визначаються як

$$L_{min}(vi,j) = \min \{L(vi,j),1; L(vi,j),2; \dots; L(vi,j),k; \dots; L(vi,j),n\}, \text{ де:}$$

$k$  – номер ітерації;  $n$  – розмірність матриці.

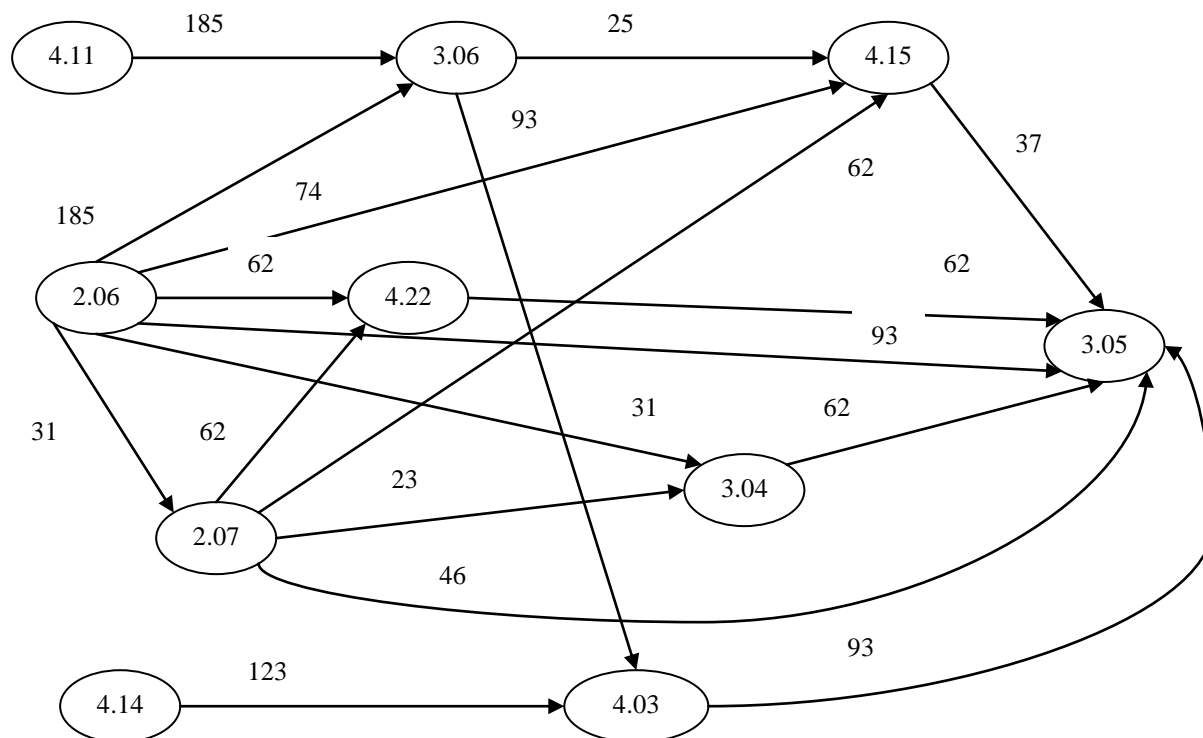


Рис. 6. Фрагмент графа СЛС після отримання значень довжин шляхів графа

Після знаходження матриці найкоротших шляхів між парами вершин знаходиться *центр* орграфа. Центр (центральна вершина) визначається через ексцентриситет (максимальне відхилення).

Ексцентриситет  $v$  відносно вершини  $w$  визначається як

$$\max\{\min\{<v \rightarrow w>\}, de : v \in V; w \in V; v \neq w\}$$

або

$$\max_{v \in V} \{ \text{мінімальна довжина шляху від } v \text{ вершини } w \}$$

Центром орграфа  $G$  називається вершина з мінімальним ексцентриситетом, або центром графа є вершина, для якої максимальна відстань (довжина шляху) до інших вершин мінімальна, тобто  $\min(\max(\min\{L_{ij}\}))$ .

Для графа на рис. 6 достатньо проаналізувати й порівняти довжини матриці до 3-го ступеню оскільки не існує шляхів між вершинами більш ніж у 3 кроки. У таблиці 1 наведено матриці довжин між вершинами 3-го ступеню.

Таблиця 1

Матриця найкоротших шляхів для графа рис. 6

	2.06	2.07	3.04	3.05	3.06	4.03	4.11	4.14	4.15	4.22
2.06		31	31	77	185	259			74	62
2.07			23	46					74	62
3.04				62						
3.05										
3.06						93			25	
4.03				93						
4.11					185					
4.14				247		123				
4.15				37						
4.22				62						
	0	31	31	247	185	259	0	0	74	62

Далі визначаємо ексцентриситети вершин як  $e_j = \max(L(v_{ij}))$ .

Ексцентриситети для вершин графа, що на рис. 6, наведено внизу табл. 1.

Як бачимо, цей граф має дві центральні вершини 2.07 і 3.04. Якщо обрати критерієм віднесення вершин до центру графа довжину  $L=75$ , то центральною областю графа, крім вершин 2.07 і 3.04, будуть вершини 4.15 і 4.22.

Перспективи подальших досліджень. Зрозуміло, що це центральна область тільки для обраного фрагменту, а для графа СЛС потрібно провести роботу по виявленню та узгодженню усіх зв'язків між дисциплінами, а також додати у якості вершин центральні вимоги зі стандартів ОПП і ОКХ.

Планується розробити метрики впливу дисциплін відповідно до графу СЛС, а також розглянути графі СЛС з нечіткими значеннями впливу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Комплекс нормативних документів для розроблення складових системи галузевих стандартів вищої освіти / За загальною редакцією В. Д. Шинкарука. – МОН України, 2008. – 68с.
2. *Галузевий стандарт вищої освіти України з напрямку підготовки 6.050101 «Комп'ютерні науки»: Збірник документів вищої освіти.* – К. : Видавнича група ВНУ, 2011. – 85 с.
3. Мещанінов О. П. Сучасні моделі розвитку університетської освіти в Україні : [Монографія]. – Миколаїв : Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2005. – 456 с. – 28,5 авт.арк.
4. Карпенко М. Трансформация системы образования под влиянием информационно-коммуникационных технологий // *Alma mater (Вестник высшей школы)*. – 2004. – № 6. – С. 8–11.
5. Пасічник В. В., Резніченко В. А. Організація баз даних та знань. – К. : Видавництво ВНУ, 2006. – 384 с.
6. Лакофф Дж. Когнитивное моделирование. Язык и интеллект. – М. : «Прогресс», 1996. – 416 с. <http://www.raai.org/about/persons/kulinich/pages/kanva2003.html>.
7. Кулинич А. А. Система когнитивного моделирования «Канва».
8. Фісун М. Т. Структура та організація даних в ЕОМ : [Навчальний посібник] / М. Т. Фісун, Б. О. Цибенко. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. – 132 с.

**Н. Т. Фісун,**  
Черноморский национальный университет  
им. Петра Могили,  
г. Николаев, Украина

## КОГНИТИВНИЙ АНАЛІЗ СТРУКТУРИ УЧЕБНОГО ПЛАНУ

*Предложена и создана база данных учебного плана (БДНП), в которой кроме характеристик дисциплин из самого плана добавляются еще характеристики дисциплин, которые содержатся в рабочих учебных программах (РНП) дисциплин. Она позволяет создать информационно-аналитическую систему для заведующего кафедрой, методиста и преподавателей выпускающей кафедры. Кроме того, используя информацию из РНП о дисциплинах, на которых базируется данная дисциплина, и овладение дисциплин, которыми она обеспечивает, созданная база данных позволяет выполнять своеобразный когнитивный анализ учебного плана. Рассмотрены такие задачи анализа, как взаимная согласованность между дисциплинами по «входам-выходам», степень влияния дисциплин между собою и определения центральной области графа СЛС.*

**Ключевые слова:** учебный план; структурно-логическая схема; когнитивная карта.

**М. Т. Фісун,**  
Petro Mohyla Black Sea National University  
Mykolayiv, Ukraine

## COGNITIVE ANALYSIS OF CURRICULUM'S STRUCTURE

*The important factor of quality of curriculum for preparation of specialists in high school is a structurally-logic chart (SLC) of curriculum that presents sequence of teaching of courses thus, that before teaching of material of certain course was already provided mastering of material from previous courses. Such chart is usually presented as the directed graph in which nodes are courses and edges are relationships between courses. But in most cases the using of such chart is ended, in that time as for the analysis of curriculum's structure and quality of relationships between courses on SLC can be used the graph model, including cognitive simulation of curriculum's structure, in particular construction and analysis of cognitive map, For this purpose in this article proposed and created the database of curriculum*

(DBoC), in which to characteristics of courses from curriculum was added also characteristics of subjects contained in the syllabus, such as courses, which is base for a certain course («input»), and that it provides other courses (“output”). This allows you to build two graphes of relationships between courses: one using the information about input courses for each of them, the other - using the information about output courses from each of them. Accordingly, we can build two matrices representing both graphs of relationships. After making the operation «minus» for matrices from each other, can be found inconsistencies of relationships between courses. So such database allows to create information system for the head, methodologist and teachers of producing educational department. It allows also to perform the certain cognitive analysis of curriculum. Proposed such tasks of analysis as mutual co-ordination between courses on «nput-output», degree of influence of courses one on other, that is determined by an expert way in percentage. Proposed a concept of distances between courses as a reciprocal of influence degree. Presence of quasi distances between the related courses allows to determine the central area of graph SLC for further analysis. In future it is planned to use linguistic variables as weights of edges and thus be possible to consider SLC as fuzzy cognitive map.

**Key words:** curriculum; structurally-logic chart; cognitive map.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **І. І. Коваленко**;  
к. т. н., доц. **І. О.Кравець**.

© Фісун М. Т., 2016

Дата надходження статті до редколегії 13.10.16

**Бойко А. П.,**канд. техн. наук, доцент кафедри  
комп'ютерної інженерії,  
ЧНУ ім. Петра Могили,  
angboyko@mail.ru**Бондаренко А. В.,**канд. техн. наук, доцент  
кафедри теорії та проектування суден,  
Національний університет кораблебудування  
ім. Адмірала Макарова,  
м. Миколаїв, Україна,  
Oleksandr.Bondarenko@nuos.edu.ua

## ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК СУДЕН З МАЛОЮ ПЛОЩЕЮ ВАТЕРЛІНІЇ

*У статті наведено схему пошуку оптимальних характеристик за допомогою генетичного алгоритму. Доведено ефективність генетичного алгоритму перед традиційними методами оптимізації шляхом тестування на стандартних функціях.*

*Практичне значення виконаної роботи полягає у розробці програмного забезпечення для визначення оптимальних характеристик суден з малою площею ватерлінії.*

**Ключові слова:** оптимізація; математична модель; цільова функція; глобальний оптимум; генетичний алгоритм; екстремум; тестова функція; нелінійне програмування.

Відродження і розвиток швидкісного пасажирського флоту – один із способів задоволення зростаючих потреб у внутрішніх і міждержавних пасажирських перевезеннях в Чорноморському регіоні, поповнення державного бюджету України. Використання для вирішення цих завдань суден з малою площею ватерлінії (СМПВ) представляється дуже доцільним, оскільки це дозволить забезпечити стабільність виконання розкладу, високу комфортність при менших енерговитратах.

Але нині досвід проектування і будівництва СМПВ в Україні практично відсутній. Тому питання вибору оптимальних характеристик СМПВ на ранніх стадіях розробки проекту є актуальним.

Математична модель проектування СМПВ є екстремальною задачею наступного виду:

$$\begin{cases} F(x) \rightarrow \max, \\ G_i(x) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \\ H_j(x) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, k, \\ x \in R_n \end{cases}$$

де  $F(x)$  – цільова функція;  $G_i(x)$  – обмеження типу нерівностей;  $H_j(x)$  – обмеження типу рівностей;  $R_n$  –  $n$ -розмірна векторна множина;  $m$  – кількість обмежень типу нерівностей;  $k$  – кількість обмежень типу рівностей;  $x$  – вектор незалежних змінних (характеристик судна, що підлягають оптимізації).

В якості цільової функції для пошуку оптимальних характеристик СМПВ запропоновано використати критерій у наступному вигляді:

$$F(x, C) = M[\Pi_E] \cdot P \rightarrow \max,$$

$$F(x, C) = M[\Pi_E] \cdot (1 - P) \rightarrow \min,$$

де  $M[\Pi_E]$  – операція математичного очікування показника економічної ефективності;  $P$  – вірогідність виконання завдання;  $\Pi_E$  – показник економічної ефективності судна.

Задача визначення оптимальних характеристик судна з малою площею ватерлінії носить нелінійний стохастичний характер і має ряд особливостей, пов'язаних з особливостями проектуванням суден даного типу [1, 2]. Вона має властивості, що істотно затрудняють її рішення: велика кількість незалежних змінних, алгоритмічно задана цільова функція, яка виявляється складною нелінійною функцією багатьох випадкових величин, наявність обмежень у вигляді рівностей і нерівностей.

А як відомо, якщо розмірність простору пошуку велика, то це, з одного боку, призводить до різкого зростання кількості обчислень цільової функції, а з іншої – до великих витрат часу, необхідного для одноразового обчислення ЦФ. В результаті пряме рішення оптимізаційної задачі класичними методами теорії оптимізації пов'язане з великими труднощами,

вимагає величезних витрат машинного часу і не дає гарантовано оптимального рішення або взагалі не застосовні.

Для вирішення подібних багаторозмірних (багато-параметричних) задач можна, по-перше, застосувати методи зменшення розмірності задач, або, по-друге, вирішувати багаторозмірну задачу з використанням спеціальних алгоритмів, які працюють з великою кількістю змінних.

Перший підхід використовує відомий в математичному моделюванні прийом – декомпозицію складної структури, що дозволяє розбити початкову задачу на ряд задач меншої складності, що вимагають простіших алгоритмів. При цьому для пошуку глобального оптимуму будується ітераційна схема послідовного рішення окремих задач, кожна з яких вирішується за допомогою різних пошукових методів нелінійного програмування, можливих рішень (наприклад, покоординатного спуску), що ґрунтуються на переборі, або методів, що використовують аналіз рельєфу функції (різні варіанти градієнтних методів [3]. Для того, щоб знайти глобальний оптимум необхідно міняти стартову точку, хоча і це не гарантує його знаходження.

Останніми роками, з появою потужних обчислювальних засобів були розроблені нові ефективні способи оптимізації. Це велика кількість варіантів нейромережових алгоритмів, еволюційні, генетичні алгоритми та тому подібне. У нашому випадку зручно вирішувати поставлену задачу з використанням другого підходу, а саме, генетичного алгоритму (genetic algorithms).

**Метою** даної роботи є розробка програмного комплексу, який використовує генетичний алгоритм для оптимізації характеристик таких складних інженерних споруд, як судно з малою площею ватерлінії.

Генетичний алгоритм (ГА) – це проста модель еволюції в природі, реалізована у вигляді комп'ютерної програми. У генетичному алгоритмі використовуються аналоги механізму генетичного спадкоємства і природного відбору.

Уперше подібний алгоритм був запропонований в 1975 році Джоном Холландом (John Holland) в універ-

ситеті Мічігану [4]. Він дістав назву «Репродуктивний план Холланда» і ліг в основу практично усіх варіантів генетичних алгоритмів. Основна термінологія ГА представляє в спрощеному вигляді термінологію еволюційної біології.

Основні відмінності генетичних алгоритмів від традиційних методів пошуку екстремумів наступні [5, 6]:

1. Генетичні алгоритми працюють з кодами, в яких представлений набір параметрів, які безпосередньо залежать від аргументів цільової функції. Причому інтерпретація цих кодів відбувається тільки перед початком роботи алгоритму і після завершення його роботи для отримання результату. В процесі роботи маніпуляції з кодами відбуваються незалежно від їх інтерпретації, код розглядається просто як бітовий рядок.

2. Для пошуку оптимуму генетичний алгоритм використовує декілька точок одночасно (популяцію), а не переходить від точки до точки, як це робиться у традиційних методах. Це дозволяє здолати один з їх недоліків – небезпеку попадання в локальний екстремум цільової функції, якщо вона не є унімодальною, тобто має декілька таких екстремумів.

3. Генетичний алгоритм в процесі роботи не використовує ніякої додаткової інформації, що підвищує швидкість роботи. Єдиною інформацією може бути область допустимих значень параметрів і цільової функції в довільній точці.

4. При пошуку оптимуму генетичний алгоритм розраховує тільки цільову функцію, а не її похідні або іншу додаткову інформацію.

5. У генетичному алгоритмі застосовуються як імовірнісні правила для породження нових точок аналізу, так і детерміновані правила для переходу від одних точок до інших.

Робота генетичного алгоритму є ітераційним процесом, який триває до тих пір, поки не виконається критерій припинення пошуку. Схема пошуку оптимального значення цільової функції в генетичному алгоритмі включає наступні кроки [7, 8, 9, 10]: (рис. 1).

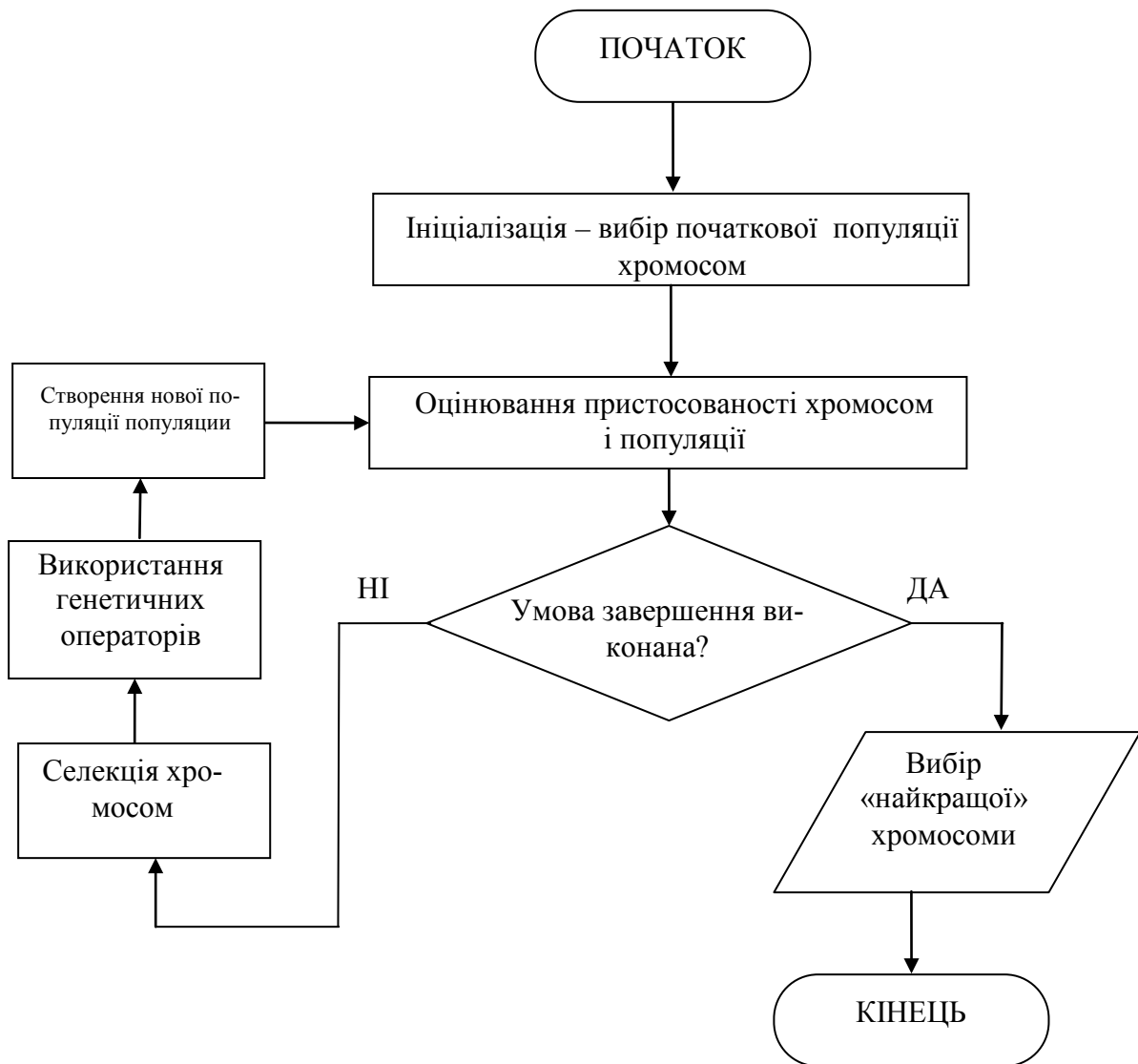


Рис. 1. Блок-схема роботи генетичного алгоритму

На першій ітерації формується початкова «популяція» (сукупність варіантів проектних рішень). Далі для кожної «особи» (рішення задачі) обчислюються значення функції пристосованості, за величиною якої визначається найкраща «особа». Потім ГА генерує нову «популяцію» з використанням генетичних операторів відбору, схрещування, мутації і стратегії елітизму (при необхідності). Для нової «популяції» проводиться оцінювання значення функції пристосованості і так далі. Процес повторюється до тих пір, поки не буде виконана одна з умов завершення пошуку.

Критерієм зупинки пошуку може служити:

1. Задана кількість поколінь або сходження популяції.
2. Завершення деякого заданого часу виконання.
3. Досягнення числом поколінь певної кількості ітерацій.

Сходженням називається стан популяції, коли усі рядки знаходяться в області деякого екстремуму і майже однакові. Таким чином, сходження популяції означає, що досягнуте рішення близьке до оптималь-

ного. Підсумковим рішенням задачі може служити найбільш пристосована особа останнього покоління.

Ефективність роботи ГА визначається вибором параметрів «генетичних» операторів (селекції, мутації, схрещування), а також ряду інших характеристик (розмір популяції, кількість поколінь до зупинки і тому подібне). Показниками ефективності ГА служать надійність, швидкість, кількість ітерацій. У зв'язку з тим, що ГА є стохастичною процедурою, оцінка його ефективності здійснюється усереднюванням по багатократних прогонах.

Для перевірки ефективності генетичного алгоритму у порівнянні з традиційними методами нелінійного програмування (метод Пауелла) авторами була проведена серія досліджень на задачах знаходження оптимуму 20 стандартних функцій з обмеженнями і без обмежень. Деякі результати цього дослідження представлено в табл. 1. Ці задачі мають «незручні», з точки зору алгоритмів оптимізації, властивості (множинні локальні екстремуми, незначна відмінність значень цільової функції в точках локальних екстремумів і так далі). Порівняльний аналіз ефективності генетичного

алгоритму і методу Пауелла виконувався за такими критеріями як надійність, швидкість, кількість ітерацій. Надійність – це відношення кількості прогонів, в яких був знайдений оптимум, до загальної кількості тестових (стандартних) прогонів. Швидкість – серед-

ня кількість обчислень цільової функції до першого виявлення екстремуму, тобто фактичні витрати на пошук. Кількість ітерацій – це середня кількість обчислень цільової функції до виявлення екстремуму.

Таблиця 1

Результати тестування генетичного алгоритму і методу Пауелла на стандартних функціях

Найменування функції	Формула	Min/Max	Кількість змінних	Надійність, %		Швидкість, с		Кількість ітерацій	
				ГА	МП	ГА	МП	ГА	МП
Функція Розенброка	$f(x) = \sum_{i=1}^{n-1} (100(x_{i+1} - x_i)^2 + (1 - x_i)^2)$	Min	20	20	80	26	82	4421	3266
Функція Растрігіна	$f(x) = 10n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i))$	Min	10	90	20	1,9	4,4	686	207
Функція Швевеля	$f(x) = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i \sin(\sqrt{ x_i }))$	Min	2	100	30	0,5	0,43	206	48
Функція Михалевича	$f(x) = -\sum_{i=1}^n (\sin(x_i) \sin^{20}(\frac{1}{n} x_i^2))$	Min	5	70	14	1,3	2	503	282
Функція Де Йонга 1	$f(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	Max	20	100	100	2,7	4,8	793	219
Посилочний ящик	$f(x_1, x_2, x_3) = x_1 x_2 x_3$	Min	3	100	80	11,5	1,3	3506	156

Результати тестування ГА і методу Пауелла показали високу надійність і швидкість знаходження оптимуму генетичним алгоритмом для більшості тестових функцій.

Для вирішення задачі оптимізації проектних характеристик СМПВ авторами був допрацьований генетичний алгоритм в плані обліку обмежень і пристосування до рішення завдань проектування. Зокрема, для обліку обмежень запропоновано використати динамічні штрафні функції: з кожним поколінням величини штрафів змінюються, в першому - вони мінімальні і з кожним подальшим поколінням збільшуються.

Реалізація генетичного алгоритму у вигляді розробленого авторами програмного комплексу для оптимізації характеристик пасажирських СМПВ наведена на рис. 2. У представленому вікні програми в динаміці показаний процес знаходження оптимального значення цільової функції, зміна значень незалежних змінних і ступень виконання обмежень. В результаті роботи оптимізаційної програми були отримані основні характеристики пасажирського СМПВ. Результати виводяться у зручному для користувача виді, згруповані залежно від виду характеристик. Деякі результати роботи програмного комплексу представлені на рис. 3 та рис. 4.



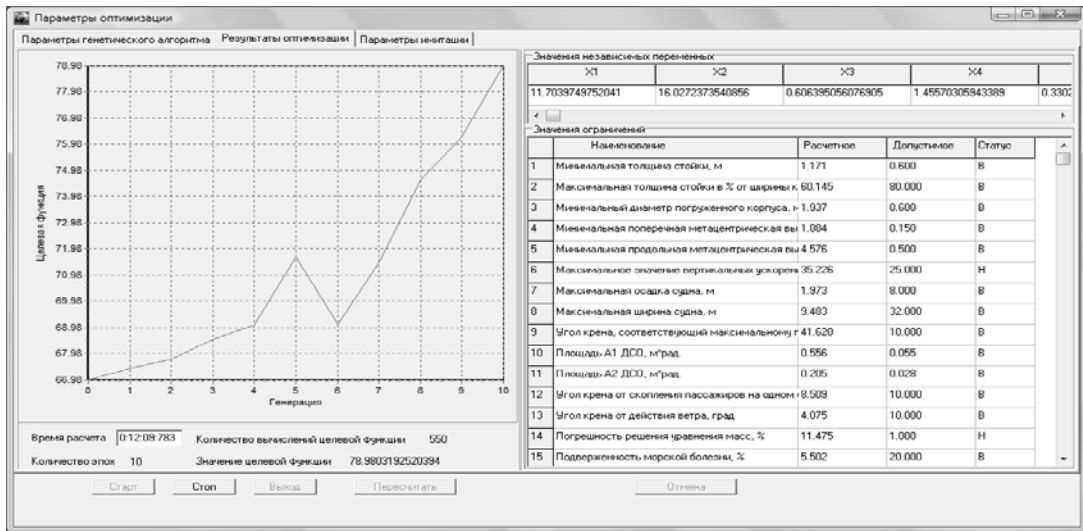


Рис. 2. Інструментальне середовище оптимізації характеристик судна з малою площею ватерлінії

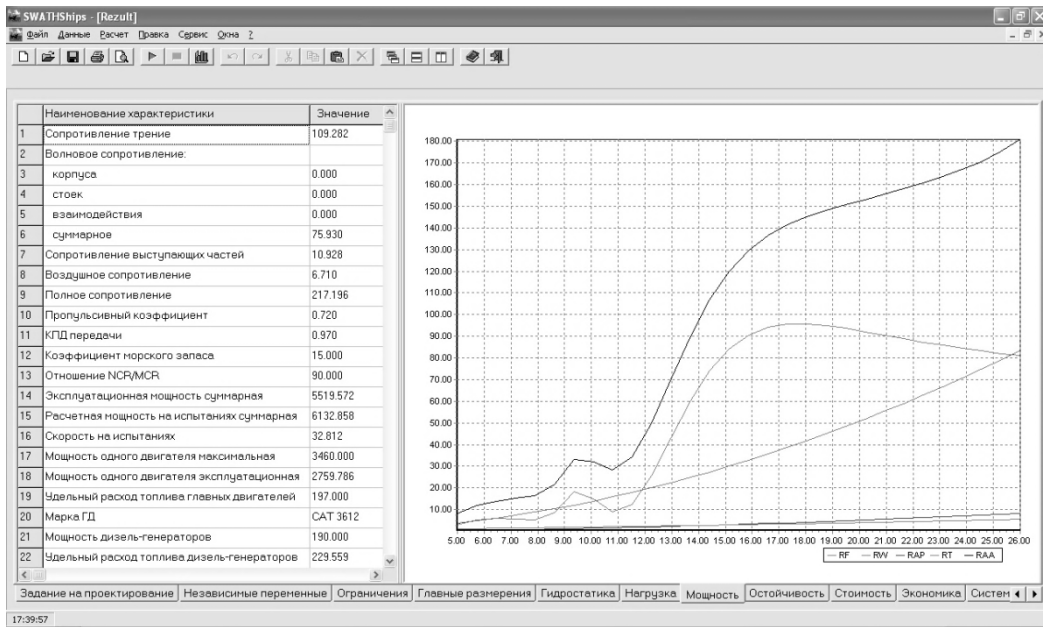


Рис. 3. Результати розрахунку опору та потужності головних двигунів

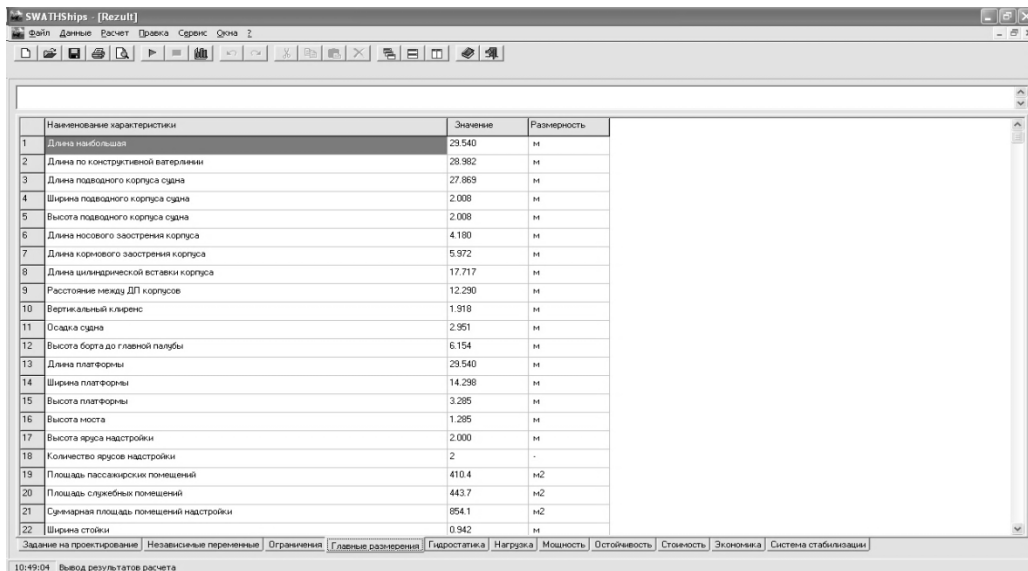


Рис. 4. Результати розрахунку геометричних характеристик СМПВ

У результаті можна зробити наступні **висновки**:

- генетичний алгоритм має більшу ефективність для вирішення складних оптимізаційних задач у порівнянні із традиційними методами оптимізації;
- застосування ГА для знаходження оптимальних характеристик пасажирських СМПВ дозволяє досить швидко і точно вирішувати поставлену задачу;

– створена авторами комп'ютерна програма визначення оптимальних характеристик СМПВ представляє практичний інтерес і може бути використана у роботі проектних організацій.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко А. П. Особенности постановки задачи проектирования судна с малой площадью ватерлинии / А. П. Бойко // 36. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2009. – № 1(424). – С. 22–26.
2. Dubrovskiy V. Small Waterplane Area Ships / V. Dubrovskiy, K. Matveev, S. Sutulo. – Fair Lawn : Backbone Publishing Co., 2007. – 255 p.
3. Банди Б. Методы оптимизации: Вводный курс / Б. Банди [пер. с англ.]. – М. : Радио и связь, 1988. – 127 с.
4. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence / J. H. Holland. - London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.
5. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
6. Chambers D. L. The Practical Handbook of Genetic Algorithms Vol. 1. Applications. / D. L. Chambers. – Boca Raton : CRC Press, 2001. – 520 p.
7. Вороновский Г.К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергеев. – Харьков, ОСНОВА, 1997. – 112 с.
8. Maneerpan K. Genetic Algorithms (GAs) Based Optimisation of FRP Composite Plated Grillages in Ship Structures / K. Maneerpan, R. A. Shenoi, J. I. R. Blake, H. K. Jeong // Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Part A : International Journal of Maritime Engineering. – 2007. – Vol. 149. – P. 1–9.
9. Yang Y. S. Discrete Optimum Design of Ship Structures by Genetic Algorithm / Y.S. Yang, G.H. Kim, W.S. Ruy // Transactions of SNAK, 1994. – Vol. 31, № 4. – P. 147–156.
10. Boulougouris E.K. Application of genetic algorithm to structural optimisation of high speed craft / E.K. Boulougouris, A. D. Papanikolaou, G. Zaraphonitis // International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, 26–30 Sept. 2005. – Lisboa, 2005. – P. 450–455.

**А. П. Бойко,**

Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы,

**А. В. Бондаренко,**

Национальный университет  
кораблестроения им. Адм. Макарова,  
г. Николаев, Украина

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВ С МАЛОЙ ПЛОЩАДЬЮ ВАТЕРЛИНИИ

*Задача определения оптимальных характеристик судов с малой площадью ватерлинии носит нелинейный стохастический характер и имеет ряд особенностей, связанных со спецификой проектированием судов данного типа. Для ее решения предлагается использовать генетический алгоритм, который позволяет улучшить процесс проектирования благодаря более эффективному исследованию пространства поиска.*

*В статье приведена схема поиска оптимальных характеристик с помощью генетического алгоритма. Доказана эффективность генетического алгоритма по сравнению с традиционными методами оптимизации путем тестирования на стандартных функциях.*

*Практическое значение выполненной работы заключается в разработке программного обеспечения для определения оптимальных характеристик судов с малой площадью ватерлинии.*

**Ключевые слова:** оптимизация; математическая модель; целевая функция; глобальный оптимум; генетический алгоритм; экстремум; тестовая функция; нелинейное программирование.

**A. P. Boyko,**  
Petro Mohyla Black Sea National University  
**O. V. Bondarenko,**  
The Admiral Makarov National University  
of Shipbuilding,  
Mykolaiv, Ukraine

## APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM FOR OPTIMIZATION OF CHARACTERISTICS OF SMALL WATERLINE AREA TWIN HULL SHIPS

*The problem of determination of the optimal characteristics of small waterline area twin hull (SWATH) ships is a stochastic nonlinear in nature and has a number of features related to the peculiarities of the design of vessels of this type. It is recommended to use a genetic algorithm to improve the design process through more effective research of the search space. Genetic algorithms are search algorithms based on principles similar to the principles of natural selection and genetics.*

*The article presents the scheme of the search for optimal characteristics using genetic algorithm. The effectiveness of genetic algorithm over traditional optimization methods through the standard test functions is well-proved. The implementation of a genetic algorithm in the form of the developed software to optimize the description of small waterline area twin hull ships is described.*

*Practical value of the work performed is to develop the software to determine optimal characteristics of small waterline area twin hull ships.*

**Key words:** *optimization; mathematical model; objective function; global optimum; genetic algorithm; extremum; test function; nonlinear programming.*

**Рецензенти:** Д. Т. Н., проф. **М. П. Мусянко;**  
К. Т. Н., доц. **І. М. Журавська.**

© Бойко А. П., Бондаренко А. В., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 05.09.16*

**Крайник Я. М.,**канд. техн. наук, в.о. ст. викладач  
кафедри комп'ютерної інженерії,  
e-mail -----**Гайван В. Ю.,**студент 4 курсу  
спеціальності комп'ютерна інженерія,  
e-mail -----**Килимович О. О.,**студент 4 курсу  
спеціальності комп'ютерна інженерія,  
ЧНУ ім. Петра Могили,  
м. Миколаїв, Україна,  
e-mail -----

## РОЗРОБКА LOW-COST МУЛЬТИМЕДІЙНОГО НАВЧАЛЬНОГО КЛАСУ

*У роботі запропонований підхід до розробки мультимедійного навчального класу університету, який дозволить його реалізацію на пристроях з низькими обчислювальними потужностями, а, значить, зменшити вартість створення такого класу. Розроблена модель взаємодії між клієнтом та сервером, яка дозволяє зменшити використання ресурсів пам'яті пристрою за рахунок того, що наявність операційної системи на пристрої не є необхідною. Реалізовано прототип, який показав, що такий підхід для побудови може використовуватись при створенні нових навчальних класів університету.*

**Ключові слова:** мультимедійний клас; сервер; клієнт; API.

**Постановка проблеми та аналіз основних досліджень.** Безперечним є те, що комп'ютерні технології увійшли у всі сфери суспільного життя та галузі виробництва. Тому використання їх потенціалу і людських можливостей в менеджменті освітньої сфери може не лише сприяти реалізації нових технологій навчання, а й істотно поліпшити якість знань студентів. Спосіб, який дозволяє здійснити це, – комплексна комп'ютеризація учебного процесу, а саме розробка комп'ютерного класу.

Розроблення концепції комп'ютеризації розпочалося у 80-х роках минулого сторіччя. Швидкий розвиток технічних і програмних можливостей персональних комп'ютерів, розповсюдження інформаційно-комунікаційних і креативних технологій створюють реальні можливості для їх використання в системі освіти з метою розвитку творчого потенціалу людини в процесі навчання та забезпечення наступності навчання між різними ланками навчально-виховних закладів освіти.

Розвиток всіх наук характеризується не тільки новаціями в галузі методів, способів та організаційних форм навчання. На різних етапах навчання з технічним розвитком відбувалося інтенсивне впровадження у навчальний процес різноманітних засобів наочності, технічних засобів. Все це здійснювалося з однією метою: підвищення ефективності навчального процесу в цілому й інновацій, які запроваджуються.

Необхідно зауважити, що безпосередньо для навчального процесу було розроблено небагато технічних пристроїв. Серед них можна назвати лише графопроєктор і лінгафонний пристрій. Всі інші технічні засоби запозичені з побуту: програвач, магнітофон, телевізор, відеоманітофон, комп'ютер. Щоразу, під час появи нового технічного пристрою, педагоги розмірковують, як використати його для розв'язання дидактичних завдань.

Таким чином, аналізуючи природні якості засобів навчання, викладачі визначають їх дидактичні властивості та функції в навчальному процесі. Учні пізнають навколишній світ за допомогою всіх органів почуттів. Проте, основними каналами отримання інформації є зорові аналізатори. Тому не випадково, що 90 відсотків всієї інформації учні отримують за допомогою зору, а 10 % – за допомогою слуху. «Краще один раз побачити, ніж 100 разів почути» – так говорить досить актуальне прислів'я.

Саме тому нами було вирішено розробити систему для представлення навчального контенту для низько вартісного навчального мультимедіа-класу.

Даний проект не є новизною, схожі речі уже було створені до нас. Але унікальність нашого проекту полягає в тому, щоб суттєво скоротити витрати на створення мультимедійного класу, обладнання для якого є звичай не дешевим. Не зважаючи на те, що вартість буде істотно меншою, ніж у конкурентів,

функціонал в основному нічим не поступається аналогам.

**Постановка завдання.** Основними цілями цього проекту є розробка системи для низьковартісного навчального мультимедіа-класу, що здійснювалась за двома напрямками:

- представлення навчального контенту;
- перевірка знань.

Для цього необхідно розробити модель взаємодії клієнт-сервер, яка дозволить зменшити використання ресурсів пам'яті клієнтського пристрою на 10–15 %.

Об'єктом роботи є мультимедійний клас. Предметом роботи є використання мультимедійного класу для проведення викладачем пар з використанням презентаційних матеріалів та перевіркою знань студентів.

**Основна частина.** Для передачі інформації від сервера до клієнтів ми використали lightweight IP. Це широко використовуваний TCP/IP [1] стек з відкритим вихідним кодом, призначений для вбудованих систем. LwIP був спочатку розроблений Адамом Дункелем в Шведському інституті комп'ютерних наук і в даний час розробляється і підтримується всесвітньою мережею розробників на чолі з Kiran Mansley.

У центрі уваги реалізації LwIP TCP/IP [6], що зменшує використання оперативної пам'яті, в той же час маючи повномасштабну TCP. Ця конструкція LwIP підходить для використання у вбудованих системах з десятками кілобайт вільної оперативної пам'яті і файлів розміром близько 40 кб коду ROM.

Очевидно, що підтримку всього різноманіття пакетів і стандартів потрібно покласти на мережевий стек. Саме тому було прийнято рішення використовувати популярний стек для вбудованих систем LwIP останньої (на поточний момент) версії.

Протоколи транспортного рівня, такі в ієрархії слідує за IP, використовуються для передачі даних між прикладними процесами, що реалізуються в мережевих вузлах. Пакет даних, що надійшов від одного комп'ютера іншому через Інтернет, повинен бути переданий процесу-обробнику, і саме по конкретному призначенню. Транспортний рівень приймає на себе відповідальність за це. На цьому рівні два основні протоколи: TCP і UDP.

TCP – транспортний протокол передачі даних в мережах TCP / IP, попередньо встановлює з'єднання з мережею.

UDP – транспортний протокол, який передає повідомлення-датаграми без необхідності установки з'єднання в IP-мережі.

Різниця між протоколами TCP і UDP - в так званій "гарантії доставки". TCP вимагає відгуку від клієнта, якому доставлений пакет даних, підтвердження доставки, і для цього йому необхідно встановлене заздалегідь з'єднання. Протокол TCP вважається надійним, тоді як UDP тоді отримав навіть іменування «протокол ненадійних датаграм». TCP виключає втрати даних, дублювання і перемішування пакетів, затримки. UDP все це допускає, і з'єднання для роботи йому не потрібно. Процеси, яким дані передаються по UDP, повинні обходитися отриманим, навіть і з втратами. TCP контролює завантаженість з'єднання, UDP не

контролює нічого, крім цілісності отриманих датаграм.

З іншого боку, завдяки такій невибірковості і безконтрольності, UDP доставляє пакети даних (дейтаграми) набагато швидше, тому для додатків, які розраховані на широку пропускну здатність і швидкий обмін, UDP можна вважати оптимальним протоколом. До таких належать мережеві і браузерні ігри, а також програми перегляду потокового відео і додатки для відеозв'язку (або голосовий): від втрати пакету, повної або часткової, нічого не змінюється, повторювати запит не обов'язково, зате завантаження відбувається набагато швидше. Протокол TCP, як більш надійний, з успіхом застосовується навіть в поштових програмах, дозволяючи контролювати не тільки трафік, але і довжину повідомлення та швидкість обміну трафіком.

**Відмінність TCP від UDP**

– TCP гарантує доставку пакетів даних в незмінній вигляді, послідовності і без втрат, UDP нічого не гарантує.

– TCP вимагає заздалегідь встановленого з'єднання, UDP з'єднання не вимагає.

– UDP забезпечує більш високу швидкість передачі даних.

– TCP надійніше і здійснює контроль над процесом обміну даними.

– UDP краще для програм, що відтворюють потокове відео, відеофонії і телефонії, мережевих ігор.

Отже, на підставі наведених аргументів, було вирішено використати TCP протокол передачі даних, адже для нас якість передачі даних грає набагато важливішу роль, ніж швидкість.

Наступним етапом був вибір API. API – інтерфейс прикладного програмування набір стандартних програмних переривань, викликів процедур (функцій, методів) і форматів даних, які повинні використовувати прикладні програми для запиту і отримання від операційної системи, телекомунікаційного протоколу або програмного інтерфейсу (механізму) і т. п. пов'язаного з ними обслуговування. API визначає на рівні початкового тексту деякий рівень абстракції, який дозволяє переносити вихідні тексти програм на комп'ютери з відмінними процесорами, де вони після перекompіляції зможуть відразу виконуватися.

Бібліотека для роботи з мережевими інтерфейсами lwIP [3] надає можливість реалізовувати програмні застосування за допомогою трьох різних API – наборів (англ. Application Programming Interface):

1. Raw API.
2. Netconn API.
3. Socket API.

Кожна з цих альтернатив має свої переваги та недоліки, які необхідно враховувати відповідно до функціональних потреб системи.

Raw API [5] дозволяє отримати доступ до керування мережевим інтерфейсом на найнижчому рівні. За рахунок цього можливо досягти найбільшої пропускну здатності та зменшити використання пам'яті, яка необхідна для роботи з керуючими структурами бібліотеки. Тим не менш, доступ до апаратних ресурсів на низькому рівні зумовлює ускладнення програмної реалізації. Використання Raw API передбачає

необхідність коректної реалізації скінченого автомату для роботи з подіями (прийом, отримання, підключення) мережевого інтерфейсу.

Інші варіанти API – Netconn та Socket – є простішими з точки зору програмної моделі. Socket API є спрощеною версією широко розповсюдженого інтерфейсу сокетів. Завдяки цьому безпосередньо робота з прийомом/передачею даних є набагато простішою та звичною, ніж для Raw API. Netconn API є нативним інтерфейсом характерним саме для бібліотеки lwIP [2]. Даний набір програмних засобів оптимізований (менше використання пам'яті, вища пропускна здатність) у порівнянні з сокетами. Дана частина бібліотеки підтримує більшість можливостей стандартних сокетів. Однак, використання даного програмного інструменту (це стосується і Netconn) вимагає наявності операційної системи, що означає збільшення вимог до розміру пам'яті цільового пристрою, а також додавання ще одного програмного компоненту.

Вибір API для реалізації залежить від функціональних вимог до системи. Оскільки система мультимедійного класу потребуватиме забезпечення високої пропускної здатності, то обраним варіантом у даному випадку є Raw API.

На початковому етапі система має працювати в 2 режимах:

1. Тестування.
2. Демонстрація презентацій, наочних матеріалів тощо.

На даному етапі для управління процесом необхідно реалізувати сервер, який розміщуються на робочому комп'ютері (комп'ютер викладача) та відповідальний за взаємодію з клієнтами.

Програма-сервер на даному етапі повинна реалізувати наступний функціонал:

1. Підтримувати підключення кількох клієнтів (на кожного клієнта відводиться окремий потік) [4]. Підключення використовує протокол TCP. Клієнт передає серверу ідентифікатор одразу після того, як йому

вдалось успішно підключитись. Ідентифікатор – номер логіну студента. Даний ідентифікатор сервер використовує для того, щоб розрізнити клієнтів.

2. У режимі демонстрації презентації одні й ті самі дані (1 зображення зі списку передається усім клієнтам). Реалізації можуть бути різними: вказується список файлів-зображень, які відправляються по натисненню кнопки Next або Previous, або вказується лише папка, а програма на основі розширення визначає, які файли доступні для передачі. При передачі зображення клієнтам необхідно також виводити його на форму для того, щоб викладач мав змогу бачити те, що відображається для студентів.

3. У режимі організації опитування необхідно передавати усім підключеним клієнтам запитання відповідно до того, як відбувається проходження тесту. Програма має перевіряти відповіді по закінченню тесту, видавати результати щодо успішності та передавати відповідні результати клієнтам. На початку усім підключеним клієнтам передається одне й те саме питання, прогрес відносно наступних питань може бути різним, тому обробка даного режиму обов'язково має бути реалізована в окремому потоці.

На рисунку 1 зображена діаграма варіантів використання створеного програмного забезпечення. Програмним забезпеченням можуть користуватись дві групи користувачів: викладачі та студенти. За допомогою створеного програмного забезпечення викладач може переслати зображення студентам, або переслати файл з тестами, для перевірки знань студентів. Для пересилання зображення викладач повинен обрати зображення з своєї файлової системи. Для тестування студентів викладачу необхідно з своєї файлової системи обрати файл з питаннями тестів та файл з вірними відповідями для перевірки. Група студентів має можливість переглянути зображення, яке переслав викладач та пройти тестування. Протокол взаємодії при передачі даних клієнту є наступним (рис. 2).

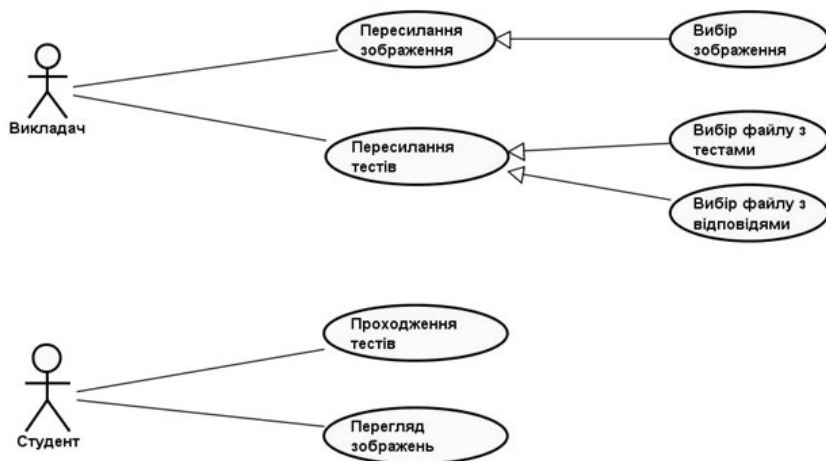


Рис. 1. Діаграма варіантів використання програмного забезпечення

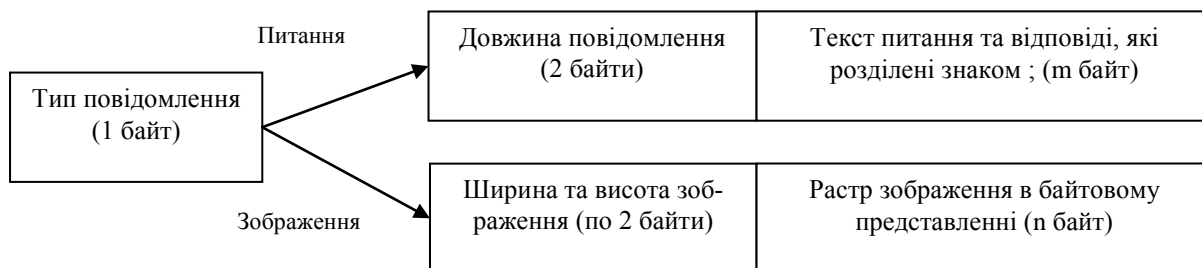


Рис. 2. Протокол передачі повідомлень від серверу до клієнтів

У режимі демонстрації ніяких даних від клієнтів до серверу не передається. У режимі тестування клієнти передають номер обраного варіанту відповіді (1 байт).

Реалізація працює на основі віконного інтерфейсу та у подальшому буде змінюватись відповідно до прогресу в реалізації.

Для забезпечення нормальної функціональності даного проекту необхідно правильно підключити необхідні частини мережі. В першу чергу потрібно запустити додаток на комп'ютері, який буде сервером. З допомогою додатку можна обрати режим роботи: тести або демонстрація презентації. Необхідні дані можна обрати серед наявних на комп'ютері-сервері. За

допомогою Ethernet-кабелю (конектори RJ-45) потрібно під'єднати switch. На цьому етапі опис зі сторони серверу закінчено.

Клієнтська частина представляє собою довільну кількість плат (STM32F7), із заздалегідь завантаженою на них прошивкою (але не більшою, ніж це дозволяє switch). Кожна плата під'єднується за допомогою кабелю Ethernet з роз'ємом RJ-45 до switch'a. Живиться плата за допомогою гнізда mini-USB. Реалізувати це можна за допомогою кабелю mini-USB – USB, під'єднавши його до порту USB. Живлення заданої кількості плат можна забезпечити через USB-hub, попередньо під'єднавши його до комп'ютера (наприклад комп'ютера-сервера).

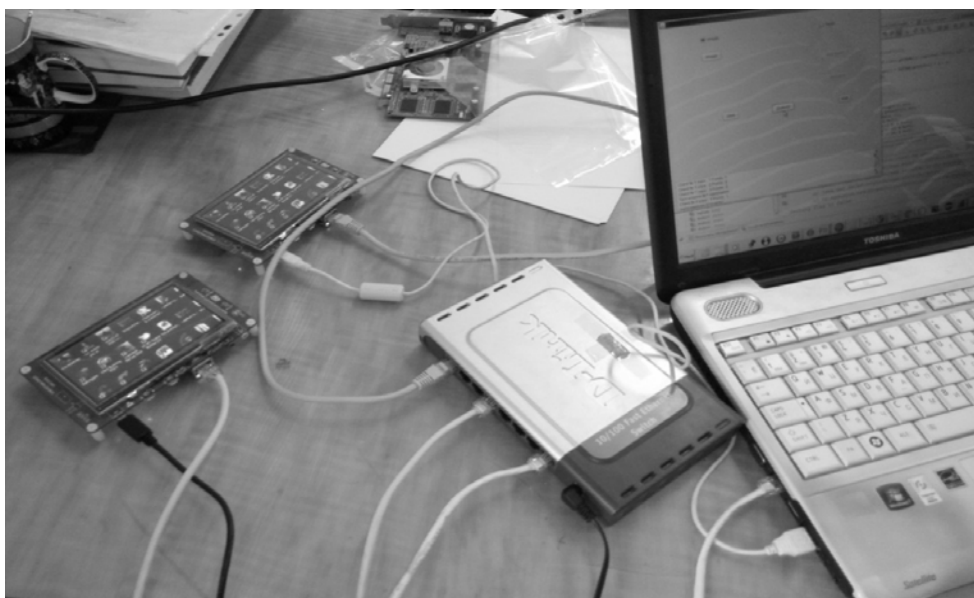


Рис. 3. Демонстрація роботи у режимі презентації

При запуску програми сервер очікує на підключення клієнтів. При кожному підключенні нового клієнта створюється новий потік, надалі в якому він і працює. У разі підключення нового клієнта йому передаються дані у вигляді зображення або тестів, які безпосередньо обрані в серверній частині. Одразу після закінчення тестів їх результат виводиться на екран.

На рисунку 4 зображена діаграма класів створеного програмного забезпечення. Програмне забезпечення містить три основні класи. Клас mydiplomUI є го-

ловним та містить в собі компоненти класу JFrame (поле для виводу, кнопки, форми для вибору файлів з завданнями). Цей клас ініціалізує об'єкти, які знаходяться на панелі та створює серверний потік. У класі ServerThread описується робота сервера та створюється потік класу ClientServicThread. Даний клас містить один метод, який запускає даний потік та успадковується від інтерфейсу Runnable. У класі ClientServicThread описується робота клієнтської частини. Даний клас успадковується від класу Thread.

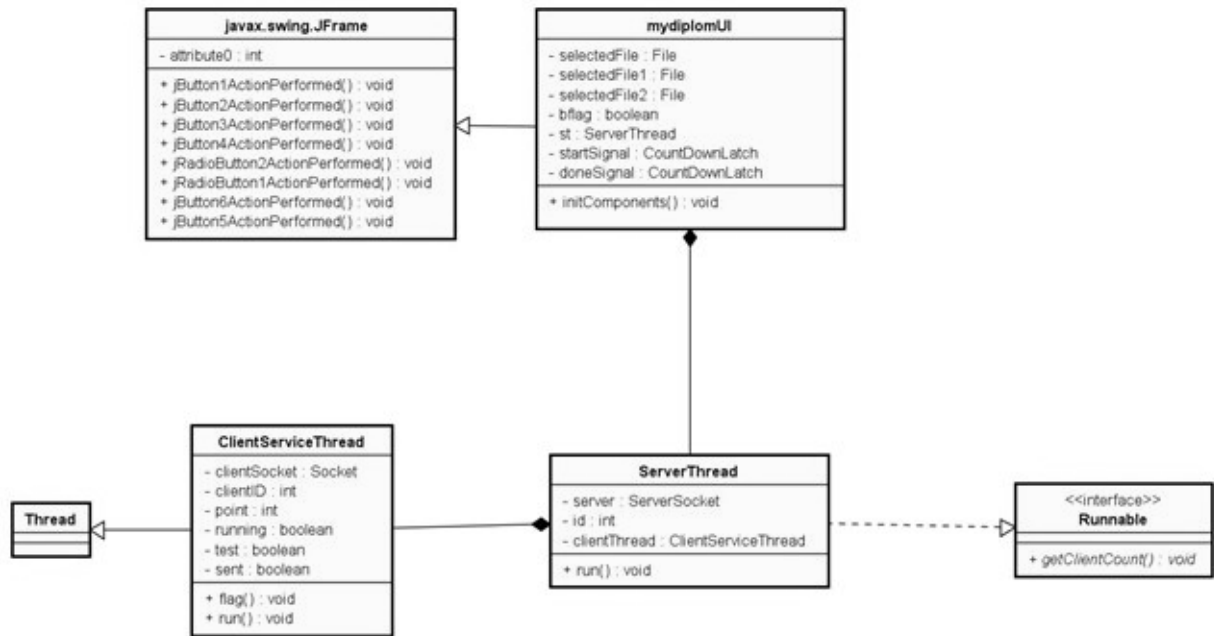


Рис. 4. Діаграма класів програмного забезпечення

Для тестування нашої мережі було прийнято рішення використати Wireshark. Wireshark (раніше звався Ethereal) – програма для аналізу мережевих пакетів Ethernet і інших мереж (сніфер) з вільним вихідним кодом. Має графічний інтерфейс користувача, програма розпізнає структуру найрізноманітніших мережевих протоколів, і тому дозволяє розібрати мережевий пакет, відображаючи значення кожного поля

протоколу будь-якого рівня. Оскільки для захоплення пакетів використовується rpsar, існує можливість захоплення даних тільки з тих мереж, які підтримують цю бібліотеку. На рисунку 5 зображено результат тестування проекту за допомогою даної програми. Можна переглянути тип переданого повідомлення та його довжину, а також його вміст.

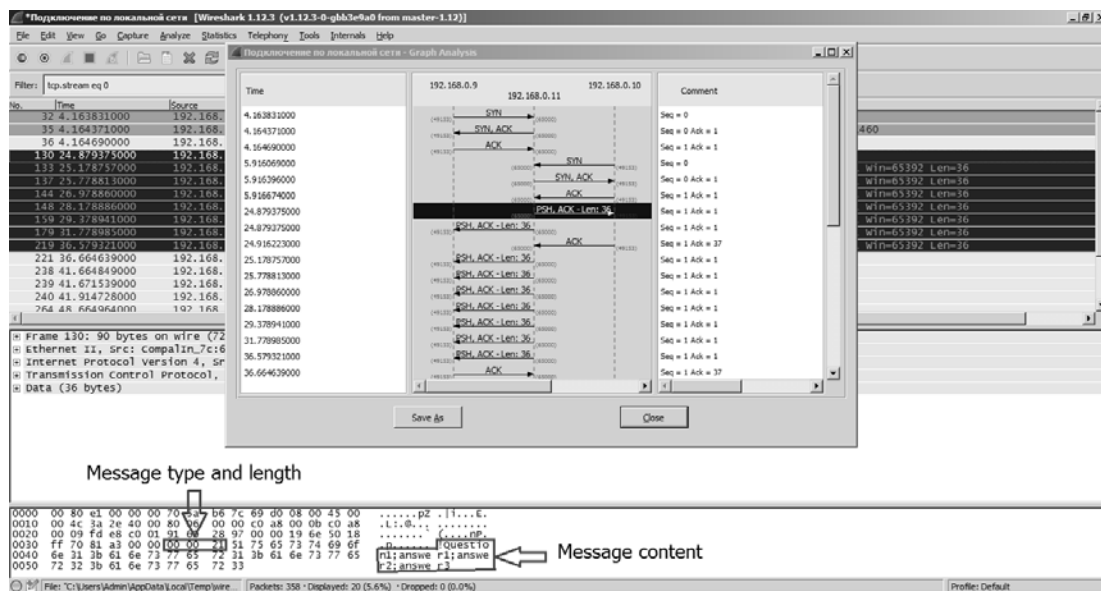


Рис. 5. Тестування проекту за допомогою Wireshark

### Висновки

За результатами виконання роботи вдалося досягти зазначеної мети, а саме створити прототип низько вартісного мультимедійного класу, робота якого здійснювалась за двома напрямками:

- представлення навчального контенту;
- перевірка знань.

Цей клас реалізовано на основі моделі взаємодії клієнт-сервер, що дозволило зменшити використання ресурсів пам'яті клієнтського пристрою на 10 % за рахунок відмови від використання операційної системи.

Було розроблено програмне забезпечення для легкого управління мультимедійного класу викладачем. Завдяки розробленому проекту можна значно спрос-



тити та полегшити процес навчання, адже кожен студент індивідуально матиме змогу ознайомитись з навчальним матеріалом (особливо це корисно для студентів з вадами зору, які не можуть бачити на досить значні відстані представлений матеріал), а також в залежності від швидкості проходження тесту виводити нові запитання (кожен студент працює з різною

швидкістю, тобто на кожне питання може піти різна кількість часу). На підставі наданих відповідей кожен студент моментально отримує результати тестування з виведенням їх на плату. Цей проект є досить актуальним у наш час, адже це може позитивно вплинути на якість навчання студентів.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Developing applications on STM32Cube with LwIP TCP/IP stack [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user\\_manual/65/e8/20/db/16/36/45/f7/DM00103685.pdf/files/DM00103685.pdf/jcr:content/translations/en.DM00103685.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/65/e8/20/db/16/36/45/f7/DM00103685.pdf/files/DM00103685.pdf/jcr:content/translations/en.DM00103685.pdf). – Назва з екрану.
2. Dunkels, A. Design and Implementation of the lw IP TCP/IP Stack [Текст] / A. Dunkels. – Swedish Institute of Computer Science, 2001. – 11с.
3. lwIP API [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.nongnu.org/lwip/2\\_0\\_0/raw\\_api.html](http://www.nongnu.org/lwip/2_0_0/raw_api.html). – Назва з екрану.
4. Multithreaded Server in Java [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://tutorials.jenkov.com/java-multithreaded-servers/multithreaded-server.html>. – Назва з екрану.
5. Raw/TCP [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lwip.wikia.com/wiki/Raw/TCP>. – Назва з екрану.
6. Установка TCP-соединения в стеке lwIP [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://cathechysis.ru/lwip\\_tcp\\_connect/](http://cathechysis.ru/lwip_tcp_connect/). – Назва з екрану.

**Я. М. Крайнык,  
В. Ю. Гайван,  
О. О. Килимович,**

Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы,  
г. Николаев, Украина

## **РАЗРАБОТКА LOW-COST МУЛЬТИМЕДИЙНОГО УЧЕБНОГО КЛАССА**

*В работе предложен подход к разработке мультимедийного учебного класса университета, который позволит выполнить его реализацию на устройствах с низкими вычислительными возможностями, а, значит, уменьшить стоимость такого класса. Разработана модель взаимодействия между клиентом и сервером, которая позволяет уменьшить использование ресурсов памяти устройства за счет того, что наличие операционной системы не является необходимым. Реализован прототип устройства, который показал, что предложенный подход может реализовываться для создания учебных классов университета.*

**Ключевые слова:** мультимедийный класс; сервер; клиент; API.

**Y. M. Krainyk,  
V. Yu. Haivan,  
O. O. Kylymovych,**

Petro Mohyla Black Sea National University,  
Mykolayiv, Ukraine

## **DEVELOPMENT OF LOW-COST MULTIMEDIA LEARNING CLASS**

*The new approach to the development of multimedia learning class in university is proposed. It allows implementing class based on devices with low computation abilities, which means decreasing total cost of the class. Developed model of interconnection between clients and servers that makes it possible to decrease resource consumption. This result has been achieved due to the fact that model makes unnecessary usage of operating system. Implemented prototype proves that proposed approach can be utilized for learning class design in university.*

**Key words:** multimedia class; server; client; API.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. *М. П. Мусієнко*;  
к. т. н., доц. *І. М. Журавська*.

© Крайник Я. М., Гайван В. Ю., Килимович О. О., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 23.11.16*

## МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЗАВАНТАЖЕННЯ КРУПНОТОНАЖНИХ СУДЕН

*В статті розглянуто системи завантаження суден, проаналізовано їх недоліки та на основі цієї інформації було створено модель системи. Представлена система використовує координатний метод визначення положення тіла в просторі. Відповідно до координат та типу контейнера система якомога більш точно переносить його на місце вказане капітаном, або, за потреби, пропонує оптимальні варіанти розміщення. Система є універсальною і може встановлюватися та працювати на всіх типах вантажних суден.*

**Ключові слова:** судно, завантаження; контроль; бездротовий зв'язок; мікроконтролер; інерційні навігаційні системи; декартовий простір.

Завантаження вантажів на судно є складним завданням, що вимагає координації багатьох складових. Недбалість під час цього процесу може привести до дуже серйозних наслідків. Зокрема показовий випадок судна “CSCL Uranus” [1]. Потрапивши в шторм корабель нахилився і за борт потрапило 80 контейнерів, деякі контейнери було пошкоджено. Все це відбулося через неправильне закріплення та завантаження контейнерів на борт. Це призвело до фінансових втрат. Все могло обійтися ще серйозніше, якби судно нахилилося на більший кут внаслідок недотримання правил техніки безпеки. Судно могло досягнути значного крену й перевернутися, тоді мова йшла б про значно більші витрати, а також про людські життя.

Не поодинокими є випадки, коли необхідний контейнер перебуває під двома, а то й більше, контейнерами. Для вивантаження цього, потрібного, вантажу треба вивантажити декілька інших об'єктів, а потім знову їх завантажити. Це займає час, а отже також призводить до фінансових втрат. Пошуки рішення, яке здатне було б допомагати портовим працівникам та екіпажу судна, не принесли бажаних результатів. Відсутність такої системи на ринку поруч з існуванням попиту з боку транспортних компаній створює нішу, яку може зайняти подібна система.

**Аналіз проблеми та постановка завдання.** Корабельний транспорт існує з давніх-давен, але з розвитком комп'ютерних технологій з'явилася можливість контролювати завантаження вантажів на судно задля прискорення процесу. Але не зважаючи на це на багатьох суднах капітан має безпосередньо спостерігати за процесом задля того, щоб пересвідчитися, що

відповідний контейнер було встановлено саме на те, попередньо вказане місце, а для перевірки закріплення треба було направити декілька людей, які б змогли все оглянути в безпосередній близькості до контейнера. Зараз існують програми, які дозволяють графічно відображати розміщення контейнерів в зонах зберігання на судні, але заносити дані про перебування цих вантажів треба вручну, що приховує у собі загрозу помилок з приводу неухважності [2-4]. Також програми можуть пропонувати оптимізацію розміщення контейнерів, але вже після того, як дані про нього було внесено, тобто якщо контейнер встановлено і лише потім внесено в програму, то доведеться переставляти його, тобто витратити додатковий час та ресурси.

Зазначені системи мають такі недоліки:

1. необхідність купувати вантажні крани, які реалізують уже готові алгоритми автоматизованого завантаження, що вимагає вливання значних коштів за відносно короткий проміжок часу;
2. закритість коду програм, що не дозволяє гнучко налаштувати програму для потреб того чи іншого судна/порту/транспортної компанії;
3. висока ціна на продукти фірм, які пропонують аналогічні системи (наприклад DELFTload коштує 150 євро за одну ліцензію);
4. націленість на певний, конкретний тип суден, неуніверсальність;
5. недостатній рівень автоматизації у програмних продуктах (необхідність вручну вносити дані про перебування чи відсутність певного контейнера на судні);

Тому актуальним постає встановлення контролю над процесом завантаження в портах для забезпечення правильності розміщення, дотримання показань ваги для кожного боку корабля, дотримання правил техніки безпеки при розміщенні контейнерів з вантажами різних класів "небезпечності". Певні види вантажів мають певні правила розміщення. Відповідно до цих правил має підбиратися правильна позиція для контейнера. Також ця система має допомогти отримати доступ до контейнерів, які мають бути вивантажені в порту, тобто потрібна оптимізація розміщення відповідно до маршруту для найкращої позиції кожного контейнера при максимальній завантаженості корабля.

Коли судно заходить у порт, то за допомогою супутникових каналів зв'язку список вантажів, які треба завантажити уже передано в порт і на місці відбуваються підготовчі роботи[5]. Необхідні контейнери з портових зон зберігання доставляються до безпосереднього місця завантаження. Після того, як судно пришвартувалося починається процес. За ним слідкує капітан. Проте він може лише візуально слідкувати за тим, що відбувається. Жодних сигналів про те, що той чи інший контейнер було завантажено. Крани, керовані крановими, починають перенесення вантажів, ставлять контейнери на вільні місця у виділених зонах завантаження корабля. При цьому не завжди можна контролювати точну постановку вантажу, що може призвести до нестабільного встановлення. Після того як було завантажено усі контейнери екіпаж закріплює їх, відшвартовується і виходить у море.

В процесі аналізу були сформовані такі вимоги:

- забезпечення надійного зв'язку між крановими та кораблем;

- візуальний інтерфейс сигналізації завантаження того чи іншого контейнера;
- аналіз навантаження різних секторів корабля;
- збереження історії всіх процесів.

**Створення моделі системи.** На всіх GPS-системах у порту корабель є точкою, що дуже ускладнює контроль за процесом завантаження, так як дослідити положення тіла на основі даних GPS не можна. Використання цієї технології перше, що спало на думку, коли мова зайшла про контроль за місцезнаходженням об'єктів. Так як перевізники не можуть ніяк модифікувати контейнер, то варіант із зовнішнім маркуванням також відпадає. Треба знайти спосіб контролювати положення тіла, який би не передбачав ніяких додаткових об'єктів-орієнтирів та дозволяв залишити контейнер саме у тому вигляді, в якому його надав клієнт. Відповідно до цих вимог було обрано координатний метод контролю.

Кожне тіло має координати в просторі. Увівши певну точку відліку можна точно сказати про місцезнаходження об'єкта у просторі. Звісно, одного набору координат буде замало інакше ми стикатимемося з ігноруванням фактичних розмірів тіла. Якщо ми розглядаємо контейнер (рис. 1), то говоримо про прямокутний паралелепіпед із заданими розмірами. Ідеально описати його положення у просторі можна зафіксувавши координати  $(x, y, z)$  усіх його вершин відносно певної базової точки (початку координат), але для спрощення, маючи розміри того чи іншого контейнера можна обмежитися координатами чотирьох точок, координати нижньої основи можна розрахувати, якщо вона буде паралельна до земної поверхні. Паралельність можна оцінити розглянувши координати  $z$  точок верхньої основи.

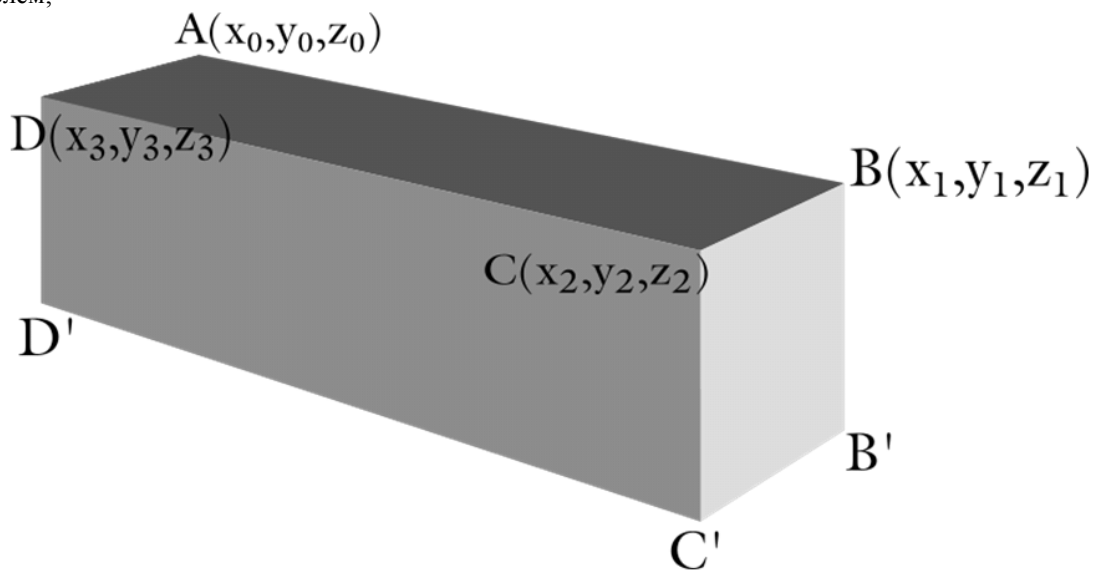


Рис. 1. Фіксовані точки для визначення координат ( $A'$  прихована)

Датчики будуть розміщені в точках  $A, B, C, D$ .  $d$  – діагональ бічної грані. Решта координат буде розрахована. Розрахунки проводитимуться наступним чином:

Візьмемо точку  $A$ , як базову, її  $z = Z$ . Розглянемо прямокутник  $AA'B'B$ .

У випадку, коли  $z_b = Z$ , маємо кут  $\alpha$ . Якщо аналогічна ситуація повториться з прямокутником  $CC'D'D$ , то прямокутник  $ABCD$  паралельно перенесеться в  $A'B'C'D'$  з відповідною зміною координат  $z$  цих точок на  $Z$ .

Якщо на одній із бічних поверхонь не виконува- тиметься умова ,

доведеться виконати додаткові розрахунки. Необ- хідно розрахувати нахил (рис.2) відносно точки.

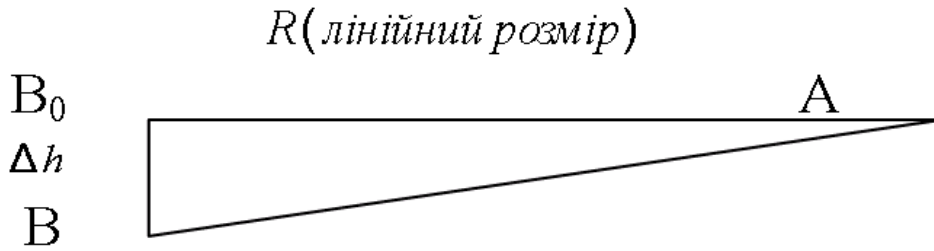


Рис. 2. Розрахунок кута нахилу

Якщо тангенс кута збільшуватиметься до певного порогового значення, то крановий отримуватиме попередження і має вирівняти положення.

Аналогічним чином можна описати місця в яких ці контейнери можна зберігати(склад в порту) чи перевозити(зони завантаження на кораблі). Також можна виконати розмітку таких зон.

Таким чином можна отримати дані про місцезнаходження того чи іншого контейнера відносно легко, маючи перед собою карту зон завантаження (рис. 3) чи карту портового складу. Створивши базу даних, яка пов'язуватиме координати об'єкта та його ідентифікатор(посилання на інформацію про цей контейнер) можна буде знаходити необхідний об'єкт знаючи його координати і навпаки. А це і є однією з основних цілей системи, яка контролюватиме завантаження.

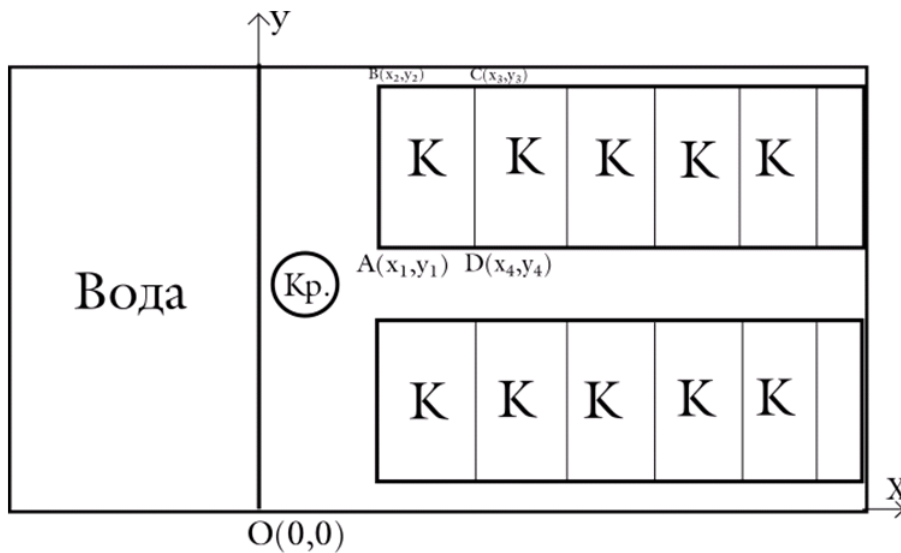


Рис. 3. Карта розміщення контейнерів у порту(прямокутник ABCD демонструє координати одного з можливих контейнерів), К – контейнер, Кр – кран

Необхідно навчитися достатньо точно розраховувати або визначати координати точок в просторі. В будь-якому випадку доведеться отримувати певну інформацію про зміну стану контейнера, щоб дані перезаписувалися або розраховувалися спочатку. Враховуючи кількість необхідних операцій, які треба виконувати для підтримки актуальних даних та частоту виконання можна віддати пріоритет способам, які дозволятимуть безпосередньо отримати координати тіла, що рухається. Для цих цілей можна використовувати інерціальні навігаційні системи (ІНС). ІНС – це пристрій, що вимірює прискорення та кутові швидкості тіла і відповідно до цього розраховує положення в просторі. Він складається [6,7] з трьох основних компонентів:

1. акселерометра, пристрою, який визначає прискорення;
2. одного або декількох гіроскопів, що визначають кутові швидкості
3. контролера, що виконує первинний аналіз даних та на їх основі розраховує швидкість руху та, власне, координати.

Необхідно, щоб такі ІНС були розташовані принаймні в двох вершинах контейнера. Проте у зв'язку з тим, що маркувати, змінювати зовнішній вигляд чи встановлювати певні, додаткові компоненти на контейнер може тільки власник, доцільно встановити ІНС на кріплення крану. Під час перенесення вантажу кріплення крану під'єднуються о кутів, тому положення датчиків на кріпленнях будуть збігатися з по-

ложенням кута тіла в просторі. До того ж фіксувати зміни положення, відповідно до наших задач, треба тільки під час перенесення [8]. Система працюватиме наступним чином:

- Крановий, отримавши координати потрібного контейнера підіймає його краном. В момент зчеплення в базі виконується пошук інформації про вантаж, який буде перенесено. Отримавши розміри контейнера розраховуються координати всіх інших вершин.
- Виконується переміщення контейнера на корабель відповідно до координат, які були задані капітаном для даного контейнера.
- Після того, як контейнер було встановлено на потрібне місце, корабельна частина системи

оповіщається про це. В портову базу відправляється команда, які підтверджує успішне перенесення вантажу.

Так буде повторюватися поки всі вантажі не буде завантажено. Окрім того, відповідно до параметрів корабля система, а саме її корабельна частина може висловлювати пропозиції щодо найбільш раціонального розміщення вантажів. Для того щоб усі розрахунки здійснювалися якомога точніше — в корабельній частині буде створено інтерфейс, який дозволяє налаштувати специфічні параметри та оновити чи відреагувати карту збереження вантажів.

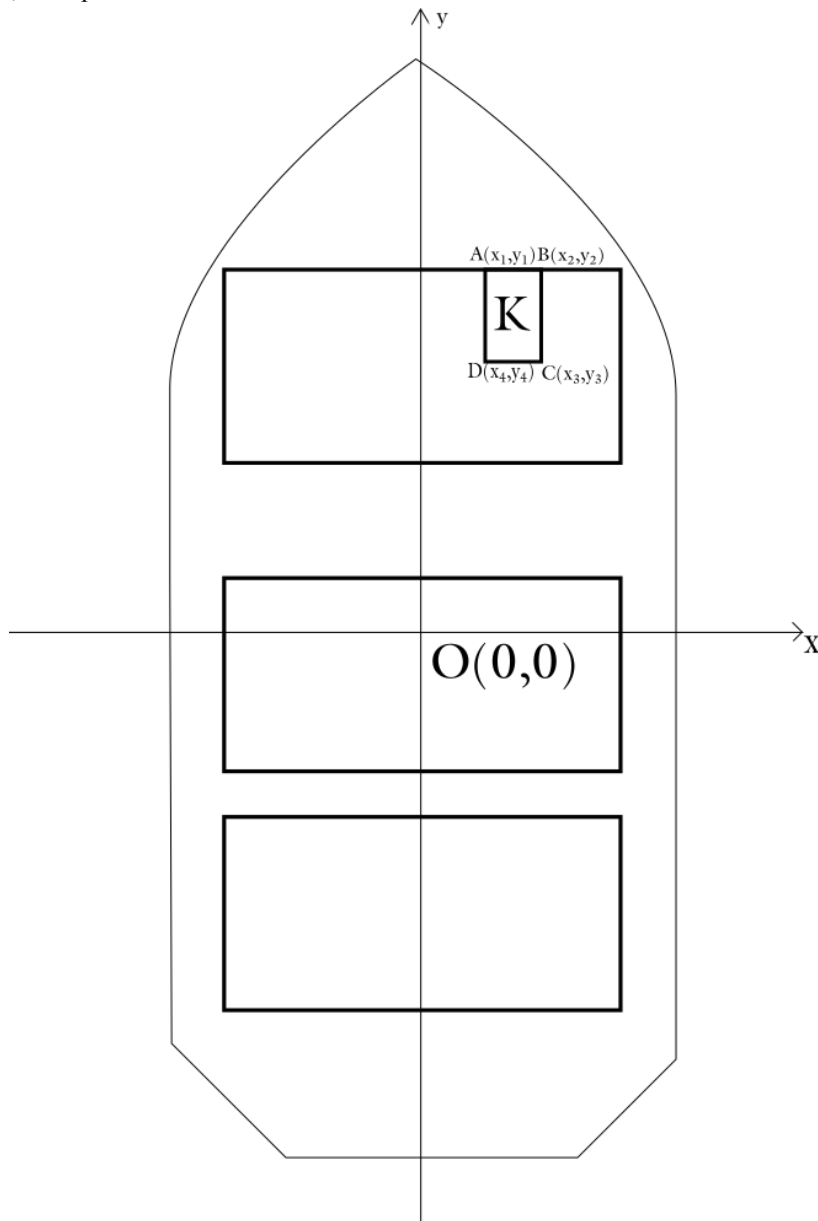


Рис. 4. Карта збереження вантажів, К – контейнер для прикладу, який характеризує розміщення

Карта Збереження Вантажів (КЗВ) – це формальний опис усіх зон завантаження, з їх описом і урахуванням специфіки конкретного судна, кожне

місце для контейнера в якій поставлено у відповідність до координат відносно певної, базової точки корабля. (рис.4) Але виникає проблема існування

двох Декартових координатних просторів, адже таким чином кран не дізнається координат місця призначення через те, що не існує зв'язку між ними. Для вирішення цієї проблеми буде виконуватися узгодження координатних просторів. Після швартування корабля в порту і встановлення каналу зв'язку із портовими кранами відбудеться передача КЗВ і розрахунок координат не відносно базової точки корабля, а відносно базової точки портових кранів. Всі перетворення відбуватимуться в програмному комплексі й капітан корабля, працюючи з КЗВ на судні може відправляти поточні, зрозумілі йому координати, які будуть автоматично перераховані системою.

Корабель має на борту супутникові канали зв'язку через які можна отримати доступ у мережу інтернет. Відповідно можна надсилати дані через цей канал, але

це є не надто результативно, до того ж дані в процесі передачі можуть бути перехоплені. Набагато більш надійним є прямий зв'язок кранових та корабля. Для забезпечення зв'язку можна скористатися бездротовим зв'язком (дротове з'єднання було відкинута як нерациональне). З поміж стандартів бездротової передачі даних, які рационально використовувати для побудови локальних мереж було обрано стандарт IEEE 802.11, а саме його реалізацію – Wi-fi. На кораблі буде встановлено роутер, який зможе покривати зону, яка буде розрахована відповідно до розмірів корабля. (рис. 5) В зоні завантаження стоятиме ретранслятор сигналу для забезпечення необхідного радіусу дії відповідно до реалій того чи іншого порту та особливостей його зон завантаження.

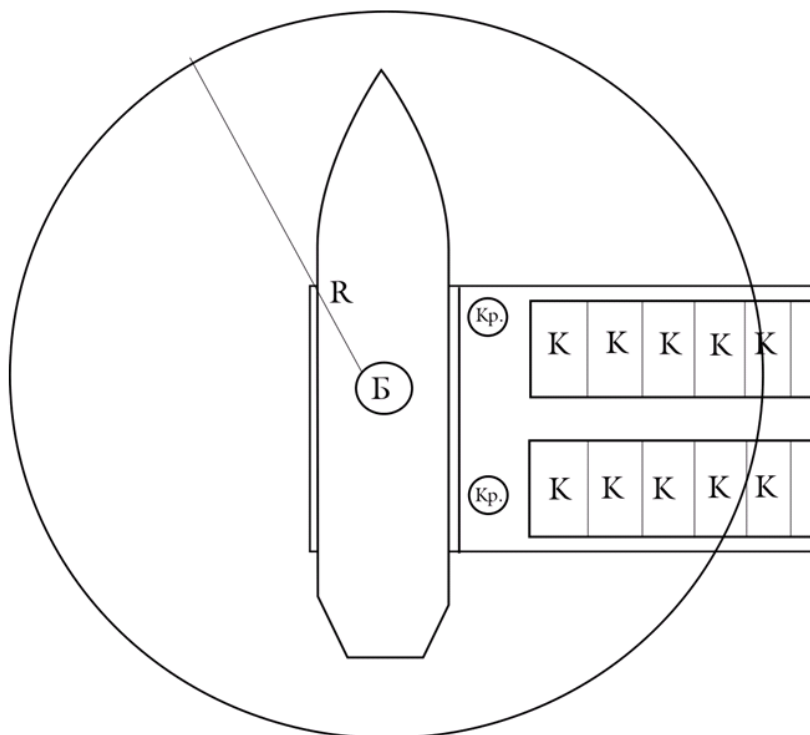


Рис. 5. Покриття Wi-fi – бази(Б), яка має радіус покриття ( $R, R > L(\text{довжина корабля})/2$ )

Всі модулі, встановлені на кранах відправлятимуть інформацію на корабельну частину системи. Вона являє собою комп'ютер приєднаний до роутера, який створює мережу через яку здійснюються комунікації. На комп'ютері встановлено програмне забезпечення, яке виконує обробку всіх даних, які надходять від кранів. Заповнюється корабельний реєстр вантажів, який являє собою надбудову на КЗВ і, по суті, поєднує координати інформацію про місцезнаходження об'єкта і дані про це об'єкт. Напрямую з даними, які надходять з мережі працюватиме лише один про-

грамний модуль. Буде відбуватися логування та занесення контейнера до корабельного реєстру вантажів. Всі інші програмні модулі працюватимуть з ним. В програмі передбачено графічний інтерфейс користувача, який дозволяє відобразити розміщення контейнерів на кораблі, модуль, який дозволяє переглянути історію перевезень та модуль аналізу розміщення, який підбиратиме найбільш оптимальне положення для контейнера, а також модуль зв'язку через який здійснюватиметься зв'язок між кораблем та крановими (рис. 6).

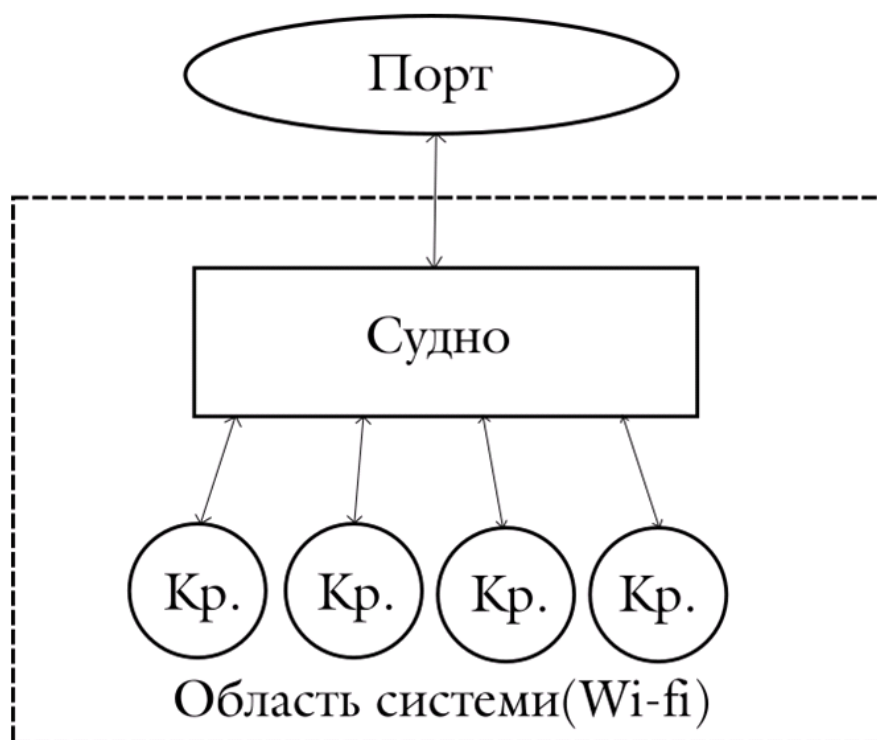


Рис. 6. Ієрархія мережі

Кранова ж частина системи складається з двох модулів ІНС та мікроконтролеру, через який здійснюватиметься передача інформації. Мікроконтролер під'єднується через інтерфейс RC-45 до більш потужного роутера. Можлива пряма передача з мікроконтролера, якщо до його складу входить вбудований модуль Wi-fi.

**Висновок.** Під час виконання роботи було проаналізовано та визначено проблему завантаження су-

ден у портах. Розглянуто варіанти розв'язання вирішення проблеми, які існують на теперішній час і виявлено їх недоліки. Відповідні моменти було включено в поставлене завдання. Було оформлено визначено завдання до майбутньої системи. Відповідно до завдань було розроблено модель системи та описано механізм її роботи. Бездротові мережі та ІНС є основним та дієвим засобом вирішення поставленого завдання.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Нікольський В. В. Система підтримки прийняття рішення по погрузке крупнотоннажного контейнеровоза / Нікольський В. В., Нікольський М. В., Накул Ю. А. // Наукові праці ЧНУ ім. Петра Могили. – Серія «Комп'ютерні технології». – Вип. 271. – Т. 134 – Миколаїв, 2016 – С. 123–131.
2. Delta Marine Ship Loading Software [Електронний ресурс] – Режим доступу : – URL: <http://www.deltamarine.com.tr/en/services/ship-loading-software.php> (дата звернення 23.11.2016).
3. DELFTload [Електронний ресурс] – Режим доступу : – URL: <http://www.delftship.net/DELFTship/index.php/delftload/delftload>(дата звернення 25.11.2016).
4. MEECOS Suite: INTERSCHALT maritime systems [Електронний ресурс] – Режим доступу : – URL: <http://www.interschalt.com/software/meecos-suite/> (дата звернення 20.11.2016).
5. Винников В. В. Экономика и эксплуатация морского транспорта: Экономика морских перевозок. Экономические расчеты на морском флоте: Задачи, ситуации, примеры.: Учебн. пос. для вузов водного транспорта. – 2-е изд., перераб. и доп. – Одесса : Фенікс, 2003. – 262 с.
6. Michael Kraft CLOSED LOOP DIGITAL ACCELEROMETER EMPLOYING OVERSAMPLING CONVERSION: докторська дисертація/Michael Kraft M:Coventry, 1997, 155 с.
7. What is Inertial Navigation Systems Guide OxTS [Електронний ресурс] – Режим доступу :. – URL: <http://www.oxts.com/what-is-inertial-navigation-systems-guide/> (дата звернення 02.12.2016).
8. Бутаков Никита Александрович. Инерциальная навигация мобильных устройств: маг.роб/ Бутаков Н. А. – М. : Москва, 2014. – 60 с.



**Ю. А. Накул,**  
«Одеская морская академия»,  
г. Одесса, Украина

**В. О. Стовманенко,**  
Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы,  
г. Николаев, Украина

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ЗАГРУЗКИ КРУПНОТОНАЖНЫХ СУДЕН

*В статье рассмотрены системы загрузки суден, проанализированы их недостатки и на основе этого создана модель системы загрузки. Представленная система использует координатный метод определения положения тела в пространстве. В соответствии к координатами и типом контейнера система более точно переносит его на указанное капитаном место, или, если требуется, предлагает оптимальные варианты размещения. Система является универсальной и может устанавливаться и работать на всех типах грузовых суден.*

**Ключевые слова:** судно; загрузка; контроль; беспроводная связь; микроконтроллер; инерционные навигационные системы; декартово пространство.

**Y. A. Nakul,**  
«Odessa Maritime Academy»,  
Odessa, Ukraine

**V.O. Stovmanenko,**  
Petro Mohyla Black Sea National University,  
Mykolayiv, Ukraine

## MODEL OF SYSTEM FOR TRANSPORT TONNAGE SHIPS DOWNLOADING

*In this article looked over systems of ships downloading and analyzed there's disadvantages and using this information as a base new system was created. Presented system uses method of coordinates for body state determination in space. According to coordinates and type of container system transports it as much exact as it possible to the place specified by ship's captain or, if he has some doubts, system advises the optimal place to store this container. System is universal and it might be installed on every possible kind of transport ships.*

**Key words:** ships; downloading; control; wireless connection; controller; inertial navigation systems; cartesian space.

**Рецензенты:** д. т. н., проф. **М. Т. Фісун;**  
д. т. н., проф. **А. Н. Хомченко.**

© Накул Ю. А., Стовманенко В. О., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 23.11.16*

## АНАЛІЗ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ОБЧИСЛЕННЯ КООРДИНАТ ПОСТРІЛУ НА БАЗІ МОБІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ У ВЗАЄМОДІЇ З БПЛА

*У статті вивчається можливість створення системи визначення координат джерела звуку (пострілу) на базі мобільного пристрою у взаємодії з БПЛА. Запропоновано і реалізовано метод градієнтного спуску з дробленням кроку в якості алгоритму для побудови мобільного додатку під Android. За допомогою розробленого прототипу програми перевірена працездатність цього алгоритму на смартфоні. Експериментальним шляхом досліджено вплив схеми розстановки мікрофонів на БПЛА на швидкість визначення координат пострілу і шляхи підвищення точності вихідних даних.*

**Ключові слова:** БПЛА; координата; джерело звуку; мікрофон; смартфон.

**Постановка проблеми.** В попередній статті, в розрізі подій що розгортаються на полі бою, розглядається ситуація коли противник веде вогонь з декількох видів зброї, і завдання командира відділення полягає в тому, щоб проаналізувати всі вогневі точки супротивника, їх місце розташування до того як противник знищить наші. В даній ситуації на перше місце виходить фактор швидкості в оцінці обстановки та прийнятті рішення. А якщо розвідувальна інформація за допомогою БПЛА надходить до мобільного пристрою та після обробки потрапляє на екран у вигляді координат вогневих точок противника, із зазначенням типу ворожої зброї, та ще і в режимі реально-го часу?

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У сучасних задачах оптимізації прикладного характеру, цільова функція залежить від багатьох стартових параметрів. Мінімум диференційованої функції з великою кількістю змінних  $U = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  можна знайти, досліджуючи її значення в критичних точках (екстремумах), які визначаються рішенням системи диференціальних рівнянь

$$\frac{\partial f}{\partial x_1} = 0, \quad \frac{\partial f}{\partial x_2} = 0, \quad \dots, \quad \frac{\partial f}{\partial x_n} = 0$$

Даний метод можна використовувати лише для цільової функції що диференціюється. Але і в цьому випадку можуть виникнути серйозні труднощі при вирішенні системи нелінійних рівнянь. У багатьох випадках ніякої формули для цільової функції немає, а є лише можливість визначення її значень в довільних точках розглянутої області за допомогою деякого обчислювального алгоритму або шляхом фізичних вимірювань. Завдання полягає в наближеному визначенні найменшого значення функції у всій області при відомих її значеннях в окремих точках.

Для вирішення практичних завдань пошуку мінімуму цільової функції  $U$ , можна ввести дискретну кількість точок (вузлів) шляхом подрібнення інтервалів зміни параметрів  $x_1, x_2, \dots, x_n$  на частини з кроком  $h_1, h_2, \dots, h_n$ . В отриманих вузлах можна визначити значення цільової функції і серед цих значень вибрати мінімальне. Даний метод може бути використаний для функції однієї змінної. В багатовимірних задачах оптимізації, де число проектних параметрів досягає п'яти і більше, цей метод вимагав би занадто великого обсягу обчислень.

Проведена оцінка показує, що подібні методи загального пошуку з використанням суцільного перебору для вирішення багатовимірних задач оптимізації не є ефективними. Необхідні спеціальні чисельні методи, засновані на цілеспрямованому пошуку. Розглянемо деякі з них.

### Метод градієнтного спуску.

Нехай потрібно знайти найменше значення цільової функції  $U = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . В якості початкового наближення виберемо деяку точку  $M_0$  в  $n$ -мірному просторі, с координатами  $x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0$ . Зафіксуємо всі координати функції  $U$ , окрім першої. Тоді  $U = f(x_1, x_2^0, \dots, x_n^0)$  - є функція однієї змінної  $x_1$ .

Вирішуючи одновимірну задачу оптимізації для цієї функції, ми від точки  $M_0$  переходимо до точки  $M_1(x_1^1, x_2^0, \dots, x_n^0)$ , в якій функція  $U$  приймає найменше значення за координатою  $x_1$  при фіксованих інших координатах. У цьому полягає перший крок процесу оптимізації, що полягає в сходженні по координаті  $x_1$ .

Тепер зафіксуємо всі координати, окрім  $x_2$ , та розглянемо функцію цієї змінної  $U = f(x_1^1, x_2, x_3^0, \dots, x_n^0)$ . Знову вирішуючи одновимірну задачу оптимізації, знаходимо її найменше значення при  $x_2 = x_2^1$  тобто в точці  $M_2(x_1^1, x_2^1, x_3^0, \dots, x_n^0)$ . Аналогічно

проводитися спуск по координатам  $x_3, x_4, \dots, x_n$ , потім процедура знову і знову повторюється від  $x_1$  до  $x_n$ .

У результаті цього процесу виходить послідовність точок  $M_0, M_1, \dots$ , в яких значення цільової функції складають монотонно спадну послідовність  $f(M_0) \geq f(M_1) \geq f(M_2) \geq \dots$ .

На будь-якому  $k$ -ому кроці цей процес можна перервати, і значення  $f(M_k)$  приймається в якості найменшого значення цільової функції в даній області.

Таким чином, метод градієнтного спуску зводить задачу про знаходження найменшого значення функції багатьох змінних до багаторазового вирішення одновимірних задач оптимізації по кожному проектному параметру. Даний метод легко проілюструвати геометрично для випадку функції двох змінних  $z = f(x, y)$ , що описує деяку поверхню в тривимірному просторі. На малюнку позначені лінії рівня цієї поверхні (рис. 1).

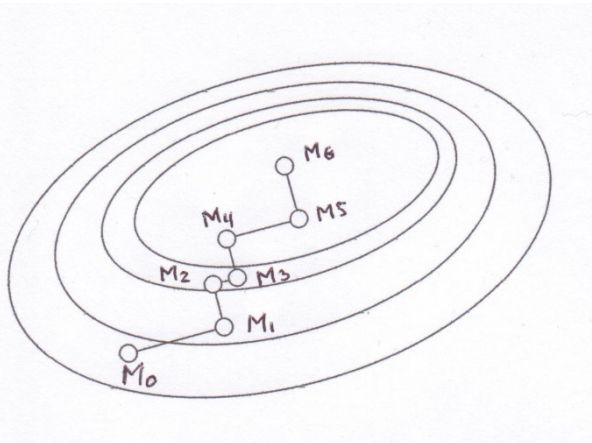


Рис. 1. Схематичне зображення градієнтного спуску

Процес оптимізації в цьому випадку проходить наступним чином. Точка  $M_0(x_0, y_0)$  описує початкове наближення. Здійснюючи спуск по координаті  $x$ , потрапляємо в точку  $M_1(x_1, y_0)$ . Далі, рухаючись паралельно осі ординат, прийдемо в точку  $M_2(x_1, y_1)$ , рухаючись в напрямку градієнтного спуску. Важливим тут є питання про збіжність розглянутого процесу оптимізації. Іншими словами, чи буде послідовність значень цільової функції  $f(M_0), f(M_1), \dots$  сходиться до найменшого її значення в даній області? Це залежить від виду самої функції і вибору початкового наближення.

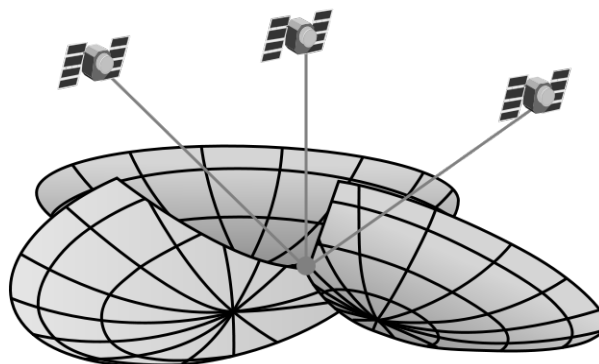
*Метод найшвидшого спуску із дробленням кроку.*

У цьому варіанті градієнтного методу величина кроку на кожній ітерації обирається за умови, що будь-який, черговий крок наближає нас до екстремуму гіперболоїда, а значить і до відповідного значення координат потрібної точки. Ця процедура відбувається наступним чином. Обирається ймовірне значення координат потрібної точки і деякий початковий крок. Тепер для кожного  $k$ -кроку вважають, що його напрямок збігається з напрямком в бік точки максимуму функції і роблять крок градієнтного методу. Якщо умова виконується, то переходять до наступного  $k$ . Якщо ж не виконується, то множать значення кроку на коефіцієнт корекції («дроблять крок») і повторюють цю процедуру до тих пір, поки нерівність не буде виконуватися. Ця процедура для кожного  $k$  за

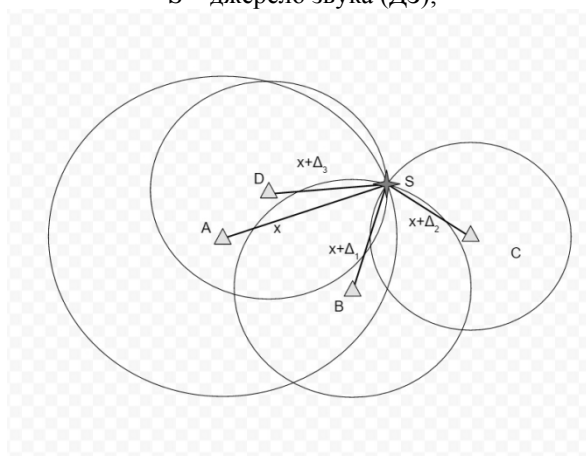
кінцеве число кроків приводить нас до потрібного результату. Описаний алгоритм позбавляє нас від проблеми вибору значення кроку на кожному  $k$ , замінюючи її на проблему вибору ймовірних координат шуканої точки і величини стартового кроку, до яких градієнтний метод менш чутливий. При цьому, зрозуміло, що обсяг обчислень зростає (у зв'язку з необхідністю процедури дроблення кроку), втім, не дуже сильно, оскільки в більшості завдань основні обчислювальні витрати лягають на обчислення градієнта (вектора).

**Формулювання цілей статті.** Вивчити можливість створення системи визначення координат джерела звуку (пострілу) на базі мобільного пристрою у взаємодії з БПЛА. Визначити і реалізувати алгоритм побудови мобільного додатку під Android що обчислює координати пострілу. За допомогою розробленого прототипу програми перевірити працездатність даного алгоритму на смартфоні. Дослідити вплив схеми розстановки мікрофонів на БПЛА на швидкість визначення координат пострілу і шляхи підвищення точності вихідних даних.

**Виклад основного матеріалу.** За аналогією з принципом побудови супутникової системи навігації – GPS (англ. *Global Positioning System* – система глобального позиціонування) (рис. 2), побудуємо графічну схему розташування об'єктів моделі обчислення координат джерела пострілу (рис. 3).



**Рис. 2.** Схема побудови супутникової системи навігації – GPS  
 Де: A, B, C, D, ... – мікрофони зі своїми координатами;  
 S – джерело звука (ДЗ);



**Рис. 3.** Схема розташування об'єктів моделі обчислення координат джерела пострілу

$X$  = відстань від  $S$  до  $A$

$\Delta_1$  = швидкість звуку \* різниця в часі отримання сигналу між  $A$  та  $B$

$\Delta_2$  = швидкість звуку \* різниця в часі отримання сигналу між  $A$  та  $C$

$\Delta_3$  = швидкість звуку \* різниця в часі отримання сигналу між  $A$  та  $D$

І так само, по аналогії з GPS, визначення координат пострілу пропонується проводити шляхом вимірювання моментів часу прийому сигналу мікрофонами від джерела звуку  $S$ . Для визначення тривимірних координат джерела пострілу нам необхідно мати чотири рівняння даних. При цьому відстань дорівнює добутку швидкості звуку на різницю моментів прийому сигналу мікрофонами та моменту його синхронного випромінювання від джерела звуку.

Побудуємо чотирирівневу систему нелінійних рівнянь.

$$\| S - A \| = x$$

$$\| S - B \| = x + \Delta_1$$

$$\| S - C \| = x + \Delta_2$$

$$\| S - D \| = x + \Delta_3$$

$$(S_x - A_x)^2 + (S_y - A_y)^2 + (S_z - A_z)^2 = x^2$$

$$(S_x - B_x)^2 + (S_y - B_y)^2 + (S_z - B_z)^2 = (x + \Delta_1)^2$$

$$(S_x - C_x)^2 + (S_y - C_y)^2 + (S_z - C_z)^2 = (x + \Delta_2)^2$$

$$(S_x - D_x)^2 + (S_y - D_y)^2 + (S_z - D_z)^2 = (x + \Delta_3)^2$$

Ця система рівнянь, реалізована в якості алгоритму майбутньої програми, дає нам можливість визначити координати джерела звуку. Але вона є не практичною з точки зору її використання в умовах бойових дій, так як, працює без урахування шумів, перешкод і низького рівня корисного сигналу, а завдання визначення координат об'єкту може стати нестійким, і тому даний підхід несе на собі суто теоретичне навантаження.

У свою чергу в якості алгоритму для побудови мобільного додатку під Android обраний метод градієнтного спуску з дробленням кроку. Основна ідея методу градієнтного спуску полягає в тому, щоб здійснювати оптимізацію в напрямку найшвидшого спуску, а цей напрямок задається антиградієнтом.

На першому етапі роботи програми, в якості вхідних даних отримуємо масив з координатами мікрофонів, а також масив фіксації пострілу за часом на мікрофонах. Якщо координати джерела звуку невідомі, їх треба тим чи іншим способом підібрати, критерієм правильності підбору координат є мінімізація функціоналу  $\Phi$ .

З огляду на те, що нам не відомі реальні координати пострілу, припустимо, що джерело звуку розташовано на початку координат. Тоді в результаті підстановки вихідних даних в  $\Phi$  отримуємо результат, що

$$\Phi(x, y, z) = \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \left( \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} - \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 + (z_j - z)^2} - V_{38} * t_{ij} \right)^2$$

Отримано результат, що

```

характеризує похибку у визначенні реальних координат джерела пострілу.
double measurementError(Coordinates possibleCoord, int microphonesNumber, Vector<Coordinates> microphone, Vector<Double> microphoneTime) {
double measurementErrorTemp = 0;
for (int i = 0; i < microphonesNumber - 1; i++) {
for (int j = i + 1; j < microphonesNumber; j++) {
double microphonesDependency =
sqrt(sqrt(microphone.get(i).x - possibleCoord.x) +
sqrt(microphone.get(i).y - possibleCoord.y) +
sqrt(microphone.get(i).z - possibleCoord.z)) -
sqrt(sqrt(microphone.get(j).x - possibleCoord.x) +
sqrt(microphone.get(j).y - possibleCoord.y) +
sqrt(microphone.get(j).z - possibleCoord.z)) -
soundSped * (microphoneTime.get(i) - microphoneTime.get(j)));
measurementErrorTemp += microphonesDependency * microphonesDependency;
}
}
return measurementErrorTemp;

```

Далі, ми обчислюємо  $\Phi'$  як похідну від  $\Phi$  та отримуємо вектор, який дає нам напрямок градієнтного спуску і його крок. По мірі наближення до екстремуму гіперболоїда похибка зменшується і в кінцевому підсумку, ми приходимо до бажаного результату з тією або іншою точністю.

$$\Phi'(x, y, z) = 2 \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \left( \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} - \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 + (z_j - z)^2} - V_{\text{зв}} * t_{ij} \right) * \left( \frac{x - x_i}{\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2}} - \frac{x - x_j}{\sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 + (z_j - z)^2}} \right)$$

```

Coordinates measurementErrorNegativeGradient(Coordinates possibleCoord, int microphonesNumber, Vector<Coordinates> microphone, Vector<Double> microphoneTime) {
Coordinates updateCoordinate = new Coordinates(0, 0, 0);
for (int i = 0; i < microphonesNumber - 1; i++) {
for (int j = i + 1; j < microphonesNumber; j++) {
double soundToMicrophoneDistance_i =
sqrt(sqrt(microphone.get(i).x - possibleCoord.x) +
sqrt(microphone.get(i).y - possibleCoord.y) +
sqrt(microphone.get(i).z - possibleCoord.z));
double soundToMicrophoneDistance_j =
sqrt(sqrt(microphone.get(j).x - possibleCoord.x) +
sqrt(microphone.get(j).y - possibleCoord.y) +
sqrt(microphone.get(j).z - possibleCoord.z));
double measurementError = soundToMicrophoneDistance_i -
soundToMicrophoneDistance_j - soundSped * (microphoneTime.get(i) - microphoneTime.get(j));

```

```

if (Math.abs(soundToMicrophoneDistance_i) > 0.0001)
&&
Math.abs(soundToMicrophoneDistance_j) > 0.0001) {
double measurementError_x = ((possibleCoord.x - microphone.get(i).x) /
soundToMicrophoneDistance_i) - ((possibleCoord.x - microphone.get(j).x) /
soundToMicrophoneDistance_j);
double measurementError_y = ((possibleCoord.y - microphone.get(i).y) /
soundToMicrophoneDistance_i) - ((possibleCoord.y - microphone.get(j).y) /
soundToMicrophoneDistance_j);
double measurementError_z = ((possibleCoord.z - microphone.get(i).z) /
soundToMicrophoneDistance_i) - ((possibleCoord.z - microphone.get(j).z) /
soundToMicrophoneDistance_j);
updateCoordinate.x += measurementError * measurementError_x;
updateCoordinate.y += measurementError * measurementError_y;
updateCoordinate.z += measurementError * measurementError_z;
} else {
updateCoordinate.x += 1;
updateCoordinate.y += 1;
updateCoordinate.z += 1;
}
}
}
}
updateCoordinate.x = -updateCoordinate.x;
updateCoordinate.y = -updateCoordinate.y;
updateCoordinate.z = -updateCoordinate.z;
return updateCoordinate; // vector of gradient
}

```

Необхідна нам точність обчисленні координат пострілу досягається завдяки встановленому нами, порогу виходу з циклу, який, в свою чергу, відповідав би необхідній точності розрахунків.

```

public class Main {
public static void main(String[] args) {
Coordinates possibleCoordinate = new Coordinates(0, 100, 0);
Vector<Coordinates> microphone = new Vector<Coordinates>();
microphone.addElement(new Coordinates(0, 0, 0));
// Situation 5.5 +++ for a single UAV
microphone.addElement(new Coordinates(0, 0.25, 0));
// Ø - 0.5м., sound source (0.4, 34)
microphone.addElement(new Coordinates(0, 0.5, 0));
// 5 microphones - 15 sec.
microphone.addElement(new Coordinates(0.25, 0.5, 0));
// 66 м. during 25 sec. / from 100м. to 34м.
microphone.addElement(new Coordinates(0.5, 0.5, 0));
int microphonesNumber = microphone.size();
Vector<Double> microphoneTime = new Vector<Double>();
microphoneTime.addElement(0.09992169284952675); // Situation 5.5
microphoneTime.addElement(0.09918707657332533);
microphoneTime.addElement(0.09845246106142029);

```

```

microphoneTime.addElement(0.0984464304540607);
microphoneTime.addElement(0.0984458821987095);
GradientDescent gradientD = new GradientDescent();
double measurementErrorValue = gradientD.measurementError(possibleCoordinate,
microphonesNumber, microphone, microphoneTime);
double coefficient = 999999999;
double drobCoefficient = 0.99;
double precision = 0.0000000001; // 0.00000001 for Ø
1м., 0.0000000001 for Ø 0.5 м.
//boolean flag = true;
Coordinates negativeGradientValue;
while (measurementErrorValue > precision) {
negativeGradientValue =
gradientD.measurementErrorNegativeGradient(possibleCoordinate,
microphonesNumber, microphone, microphoneTime);
Coordinates newPossibleCoordinate = new Coordinates(
possibleCoordinate.x + coefficient * negativeGradientValue.x,
possibleCoordinate.y + coefficient * negativeGradientValue.y,
possibleCoordinate.z + coefficient * negativeGradientValue.z);
double newMeasurementErrorValue =
gradientD.measurementError(newPossibleCoordinate,
microphonesNumber, microphone, microphoneTime);
if (newMeasurementErrorValue < measurementErrorValue) {
possibleCoordinate = newPossibleCoordinate;
measurementErrorValue = newMeasurementErrorValue;
} else {
coefficient *= drobCoefficient;

```

```

}
System.out.println("пр: " + possibleCoordinate +
", ош: " + measurementErrorValue + ", кф: " + coefficient);
}
System.out.println("источник: " + possibleCoordinate);
}
}

```

*Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.*

Серед раніше не вирішених проблем слід відзначити проблему, пов'язану з нестабільними показниками часу обчислення кінцевих результатів. Причиною такої нестабільності є наявність двох екстремумів в графіку досліджуваної функції (рис. 4, а). Це явище проявляється в ситуації коли відстань між мікрофонами значно менше ніж відстань від БПЛА до джерела звуку. За для вирішення даної проблеми необхідно, задаючи ймовірні координати пострілу, обирати позицію на проміжку між БПЛА і джерелом звуку. Та навпаки, якщо згадані відстані не суттєво відрізняються, ми спостерігаємо тільки один екстремум функції (рис. 4, б). З метою збільшення швидкості обчислень ймовірні координати пострілу повинні бути максимально наближеними до реально розташованих вогневих точок противника. Так, наприклад прицільний вогонь з автомата ведеться з відстані 500 м, з кулемети 600–800 м. а снайперської гвинтівки 800–1000 м. З цією метою в розробленому додатку передбачена можливість вибору типу зброї, для якої обчислюються координати. Вірний вибір даних параметрів, безумовно, залежить від досвіду командира підрозділу.

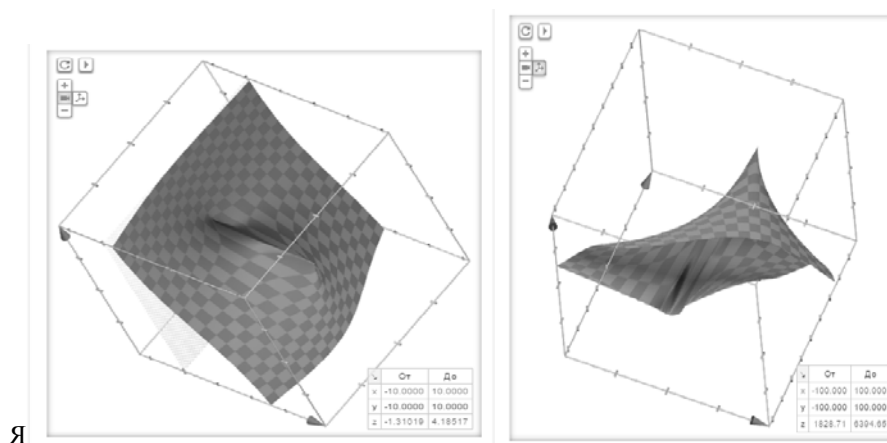


Рис. 4. Графіки функції: а – з двома екстремумами; б – з одним екстремумом

**Висновки.** Аналіз викладених підходів та результати їх практичного втілення підтверджують можливість створення системи визначення координат джерела звуку (пострілу) на базі мобільного пристрою у взаємодії з БПЛА. Розроблений мобільний додаток під Android SoundRadarCopterApp з реалізацією метода градієнтного спуску в якості алгоритму обчислює координати пострілу підтвердив свою ефективність під час тестування на смартфоні (рис. 5). Теоретичні

та експериментальні дослідження довели, що схема розстановки мікрофонів на БПЛА, їх кількість та відстань між ними має безпосередній вплив на швидкість визначення координат пострілу і шляхи підвищення точність вихідних даних.

З'ясовано, що мікрофони в кількості не менше 5 шт. (5–8), слід рівномірно розташовувати в горизонтальній площині вздовж кола діаметром від 0,5 до 1 метра на базі одного БПЛА.

Це дозволяє з швидкістю від декількох секунд до декількох десятків секунд, в залежності від обраних, вірогідних координат пострілу, підрахувати реальні

координати джерела звуку с точністю до декількох сантиметрів. Так, при очкуванні (4, 35, 0) маємо наступні значення:

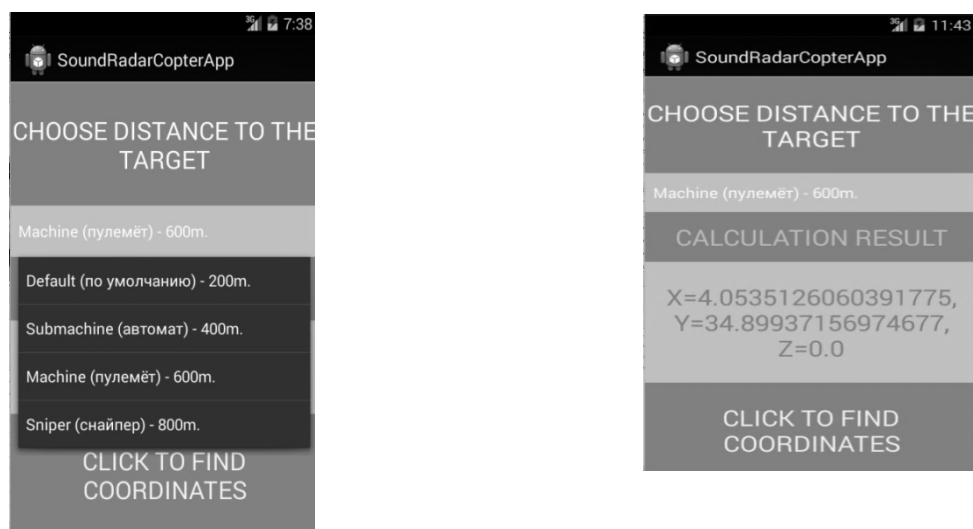


Рис. 5. Знімки екрана смартфона (скріншоти)

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бойовий статут сухопутних військ частина 3 (взвод, відділення, танк) – командування сухопутних військ збройних сил України. – Київ. – 2010
2. А. В. Львов, М. Н. Агапов, А. И. Тищенко Триангуляционная система определения координат источника звука – Алтайский гостехуниверситет, Ползуновский вестник №22010.
3. Градиентные методы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : Url: [http://www.sbras.ru/rus/textbooks/akhmevov/mo\\_unicode/3.html](http://www.sbras.ru/rus/textbooks/akhmevov/mo_unicode/3.html) (дата звернення: 10.04.2016).
4. Метод градиентного спуска [Электронный ресурс] Url: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?Title= метод градиентного спуска> (дата звернення: 18.04.2016).
5. Gps spherical location [Электронный ресурс] Url: [https://commons.wikimedia.org/wiki/file:gps\\_spheres.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/file:gps_spheres.svg) (дата звернення: 20.03.2016).
6. Ж. О. Белозеров Методи виявлення та відображення на картах рухомих об'єктів за даними мобільної гетерогенної мережі в системах ведення бою – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, могилянські читання – 2015, збірник тез – том 1.
7. Ж. О. Белозеров Взаємодія командира механізованого відділення та бпла – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Ольвійський форум – 2016, збірник тез-том5.
8. М. П. Мусиенко, И. Н. Журавская, И. С. Бурлаченко, А. О. Денисов, А. О. Корецкая, Ж. О. Белозёров, Мобильные мониторинговые сети критического применения: проблемы создания и направления развития. – Черноморский Государственный университет имени Петра Могили, серия : компьютерні технології. – 2015. – т. 266, – Режим доступа : [http://nbuv.gov.ua/ujrn/nrchduct\\_2015\\_266\\_254\\_19](http://nbuv.gov.ua/ujrn/nrchduct_2015_266_254_19)

**Ж. О. Белозеров,**  
Черноморский национальный университет  
им. Петра Могили,  
г. Николаев, Украина

## АНАЛИЗ АЛГОРИТМА ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ ВЫСТРЕЛА И ЕГО ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НА БАЗЕ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С БПЛА

*В статье изучается возможность создания системы определения координат источника звука (выстрела) на базе мобильного устройства во взаимодействии с БПЛА. Предложен и реализован метода градиентного спуска с дроблением шага в качестве алгоритма для построения мобильного приложения под Android. С помощью разработанного прототипа программы проверена работоспособность данного алгоритма на смартфоне. Экспериментальным путем исследовано влия-*

ние схемы расстановки микрофонов на БПЛА на скорость определения координат выстрела и пути повышения точность выходных данных.

**Ключевые слова:** БПЛА; координата; источник звука; микрофон; смартфон.

**Zh. O. Byelozyorov,**  
Petro Mohyla Black Sea National University,  
Mykolayiv, Ukraine

## **ANALYSIS OF THE ALGORITHM FOR CALCULATING THE COORDINATES OF THE SHOT AND ITS PRACTICAL IMPLEMENTATION ON THE BASIS OF MOBILE DEVICE IN COOPERATION WITH THE UAV**

*We study the possibility of creating a sound source positioning system (shot) on the basis of the mobile device in cooperation with UAV. The method of gradient descent with a crushing step is proposed and implemented in an algorithm for building mobile applications for Android. With the help of the developed prototype program has confirmed the operation of the algorithm by a Smartphone. The effect of the scheme of arrangement of microphones on the UAV was experimentally studied to determine the speed of on the shot coordinates and ways to improve the accuracy of the output data.*

**Key words:** *drones; coordinate; sound source; microphone; Smartphone.*

**Рецензенти:** д. п. н., проф. **О. П. Мещанінов;**  
д. т. н., проф. **А. Н. Хомченко.**

© Белозьоров Ж. О., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 02.09.16*



## АЛГОРИТМИ ОПЕРАЦІЙ НАД МАТРИЦЯМИ-ОРТОПРОЕКТОРАМИ З $M_n(\mathbb{C})$

*Бурхливий розвиток інтегрованих систем комп'ютерної математики для персональних комп'ютерів торкнувся найбільш інтелектуальної сфери діяльності людини – розв'язання особливо складних математичних та науково-технічних задач: задачі теорії поля, аеродинаміки, космонавтики, математичного моделювання систем і т. д. Але математичні методи знаходяться у постійному еволюційному розвитку і тому останні досягнення математичних наукових шкіл не є охопленими такими інтегрованими системами. Одна з таких областей математичного інструментарію – операторні  $C^*$ -алгебри. Все це пов'язано з потребами та запитамі сучасної фізики. У роботі розглянуто матриці спеціального вигляду:  $M = m^* \cdot m$ ,  $D = d^* \cdot d$ ,  $M(k) = m^*(k) \cdot m(k)$  та знайдено прості формули, які відображають їх властивості:  $|m| = \sqrt{|m_1|^2 + |m_2|^2 + \dots + |m_n|^2} = 1$ ,  $MDM = \tau^2 M \Leftrightarrow |m \cdot d^*|^2 = \tau^2$ ,  $M = UMU^*$ ,  $M(k) = UM(k)U^*$ .*

*Проведено алгоритмізацію основних операцій над об'єктами цієї різновидності якими є матриці-ортопроектори з  $M_n(\mathbb{C})$ .*

**Ключові слова:** інтегровані системи; комп'ютерна математика; оператор; алгебра; матриця; ортопроектор; алгоритм

**Вступ.** Останнім часом бурхливий розвиток отримали інтегровані системи комп'ютерної математики для персональних комп'ютерів. Вони суміщають у собі сучасний інтерфейс користувача, розв'язувачі математичних задач та потужні засоби графіки. Ці системи вторглися у найбільш інтелектуальну сферу діяльності людини – розв'язання особливо складних математичних та науково-технічних задач: задачі теорії поля, аеродинаміки, космонавтики, математичного моделювання систем і т. д. Проблемою є те, що математичні методи знаходяться у постійному еволюційному розвитку. Тому останні досягнення математичних наукових шкіл (див. 1–9) не є охопленими такими інтегрованими системами.

Проаналізуємо одну з таких областей математичного інструментарію. Нехай  $F_n$  – стандартна поліноміальна тотожність степеня  $n$  з  $n$  некомутативними змінними. Зокрема, говоримо, що  $A \in F_n$ -алгебра, якщо  $\forall x_1, \dots, x_n \in A$  виконується рівність  $F_n(x_1, \dots, x_n) = 0$ . Яскравим прикладом таких алгебр є алгебра квадратних матриць над полем комплексних чисел  $M_n(\mathbb{C})$ . Теорема Аміцура-Левітські говорить, що  $M_n(\mathbb{C}) \in F_{2n}$ -алгеброю, але не  $F_{2n-1}$ -

алгеброю.  $F_n$ -алгебри є одним з найважливіших класів алгебр, якщо розглядати їх з точки зору структури незвідних зображень алгебри. З того, що  $A \in F_{2n}$ -алгеброю випливає, що для довільного зображення  $\pi \in \text{Irrep} A$  з множини незвідних зображень алгебри  $A$  розмірність цього зображення не перевищує  $n$ . Навпаки стверджувати не можна. Контрприкладом цього слугує  $*$ -алгебра Вейля диференціальних операторів з поліноміальними коефіцієнтами від однієї змінної  $C\langle P = P^*, Q = Q^* | [P, Q] = iI \rangle$ . Багато робіт присвячено дослідженню алгебр, які є  $C^*$ -алгебрами, зокрема таким:

$$A(n, m) = C\langle P_1, \dots, P_n | P_k = P_k^* = P_k^2, F_i(P_1, \dots, P_n) = 0, i = 1, \dots, m \rangle$$

Алгебри  $A(n, m)$  породжені ортопроекторами  $P_k$  з поліноміальними тотожностями  $F_i$ . Знаходяться незвідні  $*$ -зображення (з точністю до унітарної еквівалентності) таких алгебр та умови їх існування.

Описуються породжені ними обгортуючі  $C^*$ -алгебри.

Розглянувши систему аксіом  $C^*$ -алгебр І. М. Гельфанд та М. А. Наймарк встановили, що «немає

$C^*$ -алгебр, окрім операторних  $C^*$ -алгебр». Все це пов'язано з потребами та запитамі сучасної фізики: не дарма некомутативну математику називають також «квантовою».

Ціллю даної статті є алгоритмізація операцій над матрицями-ортопроекторами з  $M_n(C)$ .

**Основні результати.** Нехай ненульова матриця з комплексними елементами  $M \in M_n(C)$  має вигляд

$$M = m^* \cdot m = \begin{pmatrix} \overline{m_1} \\ \overline{m_2} \\ \vdots \\ \overline{m_n} \end{pmatrix} (m_1 \quad m_2 \quad \dots \quad m_n) = \begin{pmatrix} \overline{m_1}m_1 & \overline{m_1}m_2 & \dots & \overline{m_1}m_n \\ \overline{m_2}m_1 & \overline{m_2}m_2 & \dots & \overline{m_2}m_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{m_n}m_1 & \overline{m_n}m_2 & \dots & \overline{m_n}m_n \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де  $\forall i \in N \quad m_i \in C$ , (\* – стандартна матрична інволюція, тобто транспонування та комплексне спряження). Тоді  $M$  – ортопроектор (тобто  $M^2 = M = M^*$ ) тоді і тільки тоді, коли

$$|m| = \sqrt{|m_1|^2 + |m_2|^2 + \dots + |m_n|^2} = 1 \quad (2)$$

$$m \cdot m^* = (m_1 \quad m_2 \quad \dots \quad m_n) \begin{pmatrix} \overline{m_1} \\ \overline{m_2} \\ \vdots \\ \overline{m_n} \end{pmatrix} = |m_1|^2 + |m_2|^2 + \dots + |m_n|^2 = |m|^2$$

отримаємо:

$$\begin{aligned} M^2 &= m^* \cdot m \cdot m^* \cdot m = \begin{pmatrix} \overline{m_1} \\ \overline{m_2} \\ \vdots \\ \overline{m_n} \end{pmatrix} (m_1 \quad m_2 \quad \dots \quad m_n) \begin{pmatrix} \overline{m_1} \\ \overline{m_2} \\ \vdots \\ \overline{m_n} \end{pmatrix} (m_1 \quad m_2 \quad \dots \quad m_n) = \\ &= \begin{pmatrix} \overline{m_1} \\ \overline{m_2} \\ \vdots \\ \overline{m_n} \end{pmatrix} \underbrace{(|m_1|^2 + |m_2|^2 + \dots + |m_n|^2)}_{=|m|^2} (m_1 \quad m_2 \quad \dots \quad m_n) = |m|^2 \begin{pmatrix} \overline{m_1} \\ \overline{m_2} \\ \vdots \\ \overline{m_n} \end{pmatrix} (m_1 \quad m_2 \quad \dots \quad m_n) = |m|^2 M \end{aligned}$$

Отже,  $M^2 = |m|^2 M \Leftrightarrow |m| = 1$ .

Далі, нехай матриці з комплексними елементами  $M, S \in M_n(C)$  мають вигляд (1):

$$M = m^* \cdot m, \quad S = s^* \cdot s$$

де  $\forall i \in N = \overline{1, n} \quad m_i, s_i \in C$ , причому

$$= \begin{pmatrix} \overline{m_1} \\ \vdots \\ \overline{m_{k+1}} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} (\overline{m_1} \quad \dots \quad \overline{m_k} \quad \overline{m_{k+1}} \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0) \begin{pmatrix} \overline{s_1} \\ \vdots \\ \overline{s_{k+1}} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} (\overline{s_1} \quad \dots \quad \overline{s_k} \quad \overline{s_{k+1}} \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0) =$$

$$\begin{aligned} m &= (m_1 \quad \dots \quad m_k \quad m_{k+1} \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0), \\ s &= (0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad s_k \quad s_{k+1} \quad \dots \quad s_n), \quad m^* \cdot s \neq 0. \end{aligned}$$

Тоді  $MS = SM = 0$  тоді і тільки тоді, коли  $\overline{m_k} s_k + \overline{m_{k+1}} s_{k+1} = 0$ .

Справді, врахуємо, що  $MS = m^* \cdot m \cdot s^* \cdot s =$

$$= \begin{pmatrix} \bar{m}_1 \\ \vdots \\ \bar{m}_{k+1} \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} (\bar{m}_k s_k + \bar{m}_{k+1} s_{k+1}) (\bar{s}_1 \dots \bar{s}_k \bar{s}_{k+1} \ 0 \ 0 \dots 0) = (\bar{m}_k s_k + \bar{m}_{k+1} s_{k+1}) \cdot (m^* \cdot s)$$

оскільки  $m^* \cdot s \neq 0$ , тоді  $\bar{m}_k s_k + \bar{m}_{k+1} s_{k+1} = 0$ .

Для  $SM$  – аналогічно.

Далі, нехай матриці з комплексними елементами

$M, D \in M_n(\mathbb{C})$  мають вигляд (1):

$$M = m^* \cdot m, \quad D = d^* \cdot d \quad (3)$$

де  $\forall i \in N = \overline{1, n} \quad m_i, d_i \in \mathbb{C}$ , причому  $|m|^2 = 1$ ,

$|d|^2 = 1$ . Тоді  $MDM = \tau^2 M$  тоді і тільки тоді, коли

$$|m \cdot d^*|^2 = \tau^2 \quad (4)$$

Справді, врахуємо, що

$$\begin{aligned} MD &= (m^* \cdot m)(d^* \cdot d) = \begin{pmatrix} \bar{m}_1 \\ \bar{m}_2 \\ \vdots \\ \bar{m}_n \end{pmatrix} (m_1 \ m_2 \ \dots \ m_n) \begin{pmatrix} \bar{d}_1 \\ \bar{d}_2 \\ \vdots \\ \bar{d}_n \end{pmatrix} (d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n) = \\ &= \begin{pmatrix} \bar{m}_1 \\ \bar{m}_2 \\ \vdots \\ \bar{m}_n \end{pmatrix} (m_1 \bar{d}_1 + m_2 \bar{d}_2 + \dots + m_n \bar{d}_n) (d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n) = \\ &= (m_1 \bar{d}_1 + m_2 \bar{d}_2 + \dots + m_n \bar{d}_n) \cdot \begin{pmatrix} \bar{m}_1 \\ \bar{m}_2 \\ \vdots \\ \bar{m}_n \end{pmatrix} (d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n) = (m \cdot d^*) \cdot (m^* \cdot d) \end{aligned}$$

отримаємо:

$$\begin{aligned} MDM &= (m^* \cdot m)(d^* \cdot d)(m^* \cdot m) = (m \cdot d^*) \cdot (m^* \cdot d)(m^* \cdot m) = \\ &= (m \cdot d^*) \cdot (d \cdot m^*)(m^* \cdot m) = (m \cdot d^*)(d \cdot m^*) \cdot M = (m \cdot d^*)(m \cdot d^*)^* M = |m \cdot d^*|^2 \cdot M \end{aligned}$$

звідки  $|m \cdot d^*|^2 = \tau^2$ .

Далі, нехай сім'я матриць з комплексними елементами  $M(k) \in M_n(\mathbb{C})$ ,  $1 \leq k \leq n-1$  має вигляд (1):

$$M(k) = m^*(k) \cdot m(k), \quad m(k) = \left( \overbrace{0, \dots, 0}^{k-1}, m_k(k) e^{i\varphi_k(k)}, \underbrace{m_{k+1}(k) e^{i\varphi_{k+1}(k)}, 0, \dots, 0}_{n-k-1} \right) \in \mathbb{C}^n \quad (5)$$

де  $1 \leq k \leq n-1$ ,  $i = \sqrt{-1}$ ,  $m_k(k), m_{k+1}(k) \in \mathbb{R}$ . Тоді  $\exists U \in M_n(\mathbb{C})$ :

$$\forall k \in \{1, \dots, n-1\} \quad U M(k) U^* = \hat{M}(k) \in M_n(\mathbb{R}_0^+), \quad U^* = U^{-1}, \quad \mathbb{R}_0^+ = \{x \in \mathbb{R} | x \geq 0\}$$

Можна побудувати матрицю

$$U = \text{diag}(u_k), \quad 1 \leq k \leq n-1, \quad (6)$$

причому:

$$u_1 = \text{Exp}\left(i \sum_{j=1}^{n-1} \varphi_j(j)\right); \quad u_k = \text{Exp}\left(i \sum_{r=1}^{k-1} \varphi_{r+1}(r) + i \sum_{j=k}^{n-1} \varphi_j(j)\right), \quad 2 \leq k \leq n-1;$$

$$u_n = \text{Exp}\left(i \sum_{r=1}^{n-1} \varphi_{r+1}(r) + i \varphi_n(n-1)\right)$$

Легко перевірити, що  $U^* = U^{-1}$ . Врахуємо, що

$$\varphi \stackrel{\text{def}}{=} i \varphi_k(k) - i \varphi_k(k) + i \sum_{r=1}^{k-1} \varphi_{r+1}(r) + i \sum_{j=k+1}^{n-1} \varphi_j(j) = i \varphi_{k+1}(k) - i \varphi_{k+1}(k) + i \sum_{r=1}^{k-1} \varphi_{r+1}(r) + i \sum_{j=k+1}^{n-1} \varphi_j(j)$$

Тоді  $\forall k : 2 \leq k \leq n-2$  виконується:

$$\begin{aligned} U M(k) U^* &= U \begin{pmatrix} 0 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & (m_k(k))^2 & m_k(k) m_{k+1}(k) e^{i(-\varphi_k(k) + \varphi_{k+1}(k))} & \vdots \\ \vdots & m_k(k) m_{k+1}(k) e^{i(\varphi_k(k) - \varphi_{k+1}(k))} & (m_{k+1}(k))^2 & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix} U^* = \\ &= U m^*(k) m(k) U^* = (U m^*(k)) \cdot (m(k) U^*) = \\ &= \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ m_k \text{Exp}\left(-i \varphi_k(k) + i \sum_{r=1}^{k-1} \varphi_{r+1}(r) + i \sum_{j=k}^{n-1} \varphi_j(j)\right) \\ m_{k+1} \text{Exp}\left(-i \varphi_{k+1}(k) + i \sum_{r=1}^k \varphi_{r+1}(r) + i \sum_{j=k+1}^{n-1} \varphi_j(j)\right) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \cdot \\ &\cdot \begin{pmatrix} 0 \dots 0 & m_k \text{Exp}\left(-i \varphi_k(k) + i \sum_{r=1}^{k-1} \varphi_{r+1}(r) + i \sum_{j=k}^{n-1} \varphi_j(j)\right) & m_{k+1} \text{Exp}\left(-i \varphi_{k+1}(k) + i \sum_{r=1}^k \varphi_{r+1}(r) + i \sum_{j=k+1}^{n-1} \varphi_j(j)\right) & 0 \dots 0 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ m_k \text{Exp}(\varphi) \\ m_{k+1} \text{Exp}(\varphi) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \dots 0 & m_k \text{Exp}(-\varphi) & m_{k+1} \text{Exp}(-\varphi) & 0 \dots 0 \end{pmatrix} = \\ &= \begin{pmatrix} 0 & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & (m_k(k))^2 & m_k(k) m_{k+1}(k) & \vdots \\ \vdots & m_k(k) m_{k+1}(k) & (m_{k+1}(k))^2 & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix} = \hat{M}(k) \end{aligned}$$

Аналогічно перевіряється, що  $U M(1)U^* = \hat{M}(1)$  та  $U M(n-1)U^* = \hat{M}(n-1)$ . Також аналогічно матрицю  $M$  у вигляді (1) легко представити у вигляді

$$M = U\hat{M}U^*, \quad (7)$$

де  $U = \text{diag}(u_k)$ ,  $u_k = |m_k| \cdot \text{Exp}(\varphi_k)$ ,  $1 \leq k \leq n$  (8)

Наведемо зразки таких алгоритмів. Нехай  $M$  – ортопроектор (тобто  $M^2 = M = M^*$ ) тоді можна записати алгоритм зведення ортопроектора (з точ-

ністю до унітарного оператора) до дійсно значного вигляду.

Алгоритм 1:

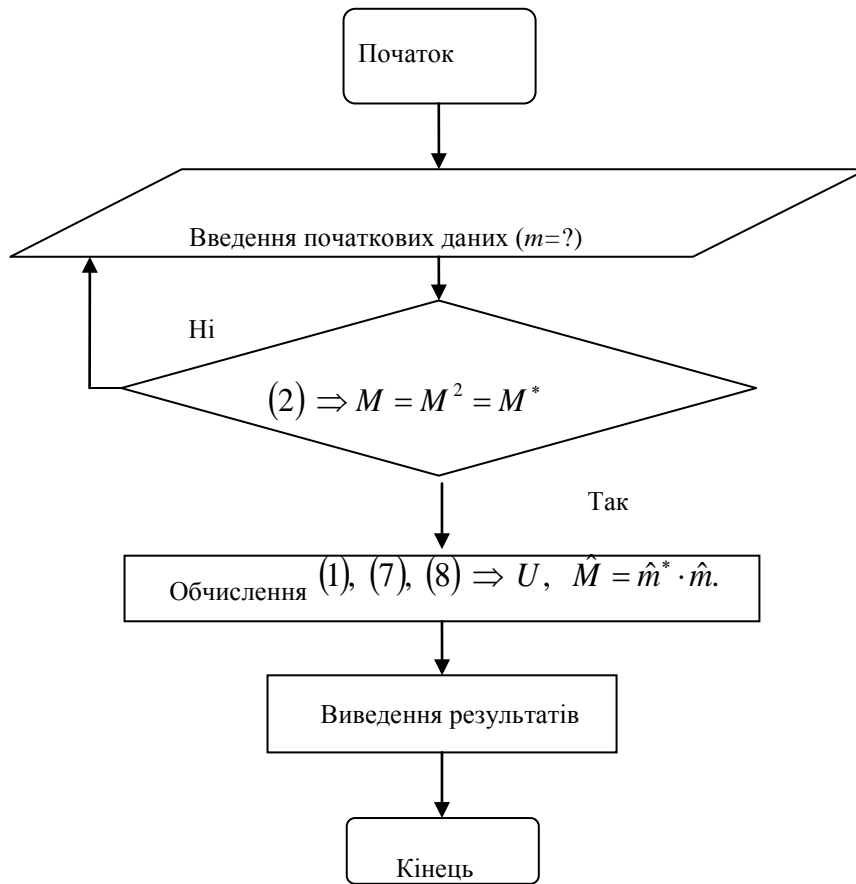
- 1) отримання початкових даних;
- 2) перевірка початкових даних;
- 3) розклад ортопроектора у вигляді (1);
- 4) знаходження

$$(1), (7), (8) \Rightarrow U, \hat{M} = \hat{m}^* \cdot \hat{m};$$

- 5) вивід результатів.

3

Блок-схема алгоритму 1



Нехай  $M(k)$  – сім'я ортопроекторів вигляду (5). Тоді можна записати алгоритм зведення такої сім'ї ортопроекторів (з точністю до унітарного оператора) до дійсно значного вигляду та обчислення функції від такої

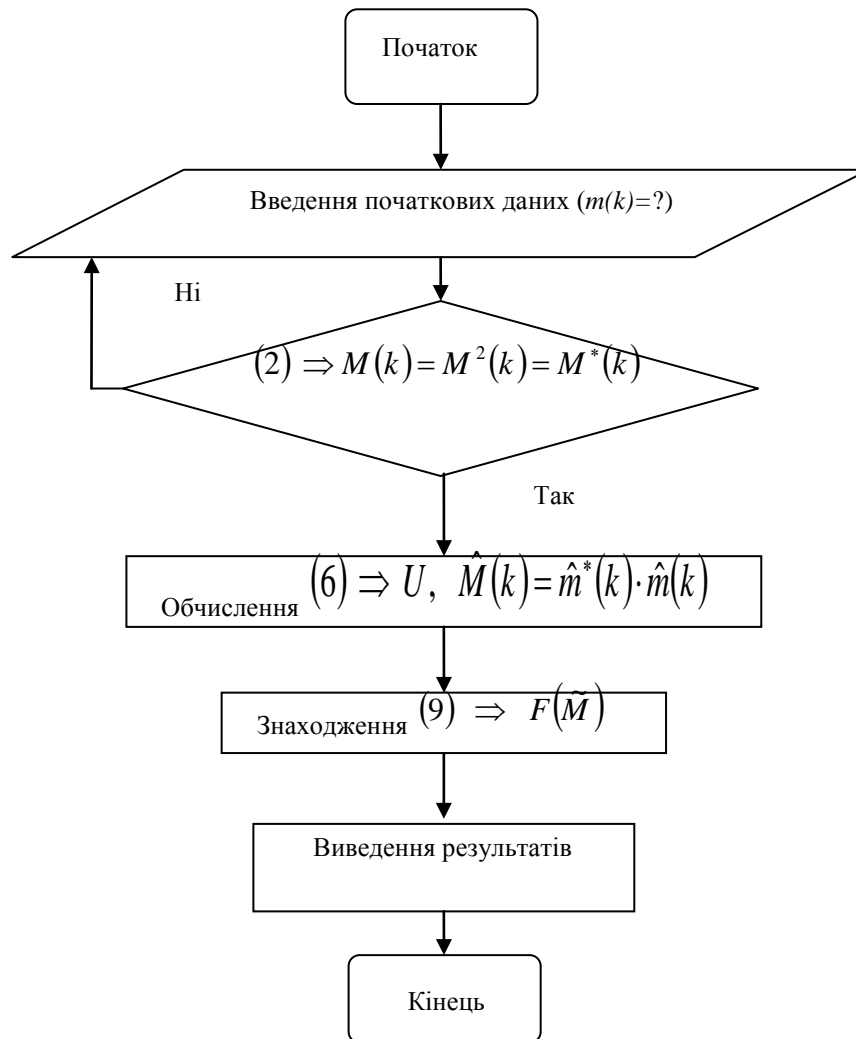
$$F(\tilde{M}) = a_1 M_1 + a_2 M_2 + \dots + a_n M_1 =$$

$$\text{сім'ї } \tilde{M} : U(\text{Re}(a_1)M_1 + \text{Re}(a_2)M_2 + \dots + \text{Re}(a_n)M_1)U^* + iU(\text{Im}(a_1)M_1 + \text{Im}(a_2)M_2 + \dots + \text{Im}(a_n)M_1)U^*, \quad (9)$$

бо коефіцієнти  $a_k$  можуть бути комплексними. Відмітимо, що формула (9) має такий вигляд, який мінімізує кількість обчислювальних операцій з врахуванням комплекснозначності коефіцієнтів  $a_k$ .

Алгоритм 2:

- 1) отримання початкових даних;
- 2) перевірка початкових даних;
- 3) розклад ортопроектора у вигляді (5);
- 4) знаходження з (6)  $\Rightarrow U, \hat{M}(k) = \hat{m}^*(k) \cdot \hat{m}(k)$ ;
- 5) знаходження (9)  $\Rightarrow F(\tilde{M})$
- 6) вивід результатів.



**Висновок.** Метою дослідження була система правил виконання конкретного дискретного процесу, яка досягає поставленої мети за скінчений час.

У цілому мету досягнуто. Хоча немає остаточної відповіді на питання: які властивості систем матриць-

ортопроекторів вважати основними, а які ні. Дослідження можна продовжити у напрямку побудови алгоритмів роботи з квантово-механічними системами.

### ЛІТЕРАТУРИ

1. Halmos P. R. Two subspaces [text] / P. R. Halmos // Trans. of the Amer. Math. Soc. – 1969. – 144. – P. 381–389.
2. Popova N. D. On the existence of configurations of subspaces in a Hilbert space with fixed angles [text] / N. D. Popova, Yu. S. Samoilenko // Sigma Symmetry Integrability Geom. Methods Appl. – 2006. – 2, № 055. – P. 1–5.
3. Albeverio S. On functions on graphs and representations of a certain class of \*-algebras [text] / S. Albeverio, V. Ostrovskiy, Yu. Samoilenko // J. Algebra. – 2007. – 308, № 2. – P. 567–582.
4. Samoilenko Ye. Ye. On Spectrum of Matrix-Valued Continuous Functions of a Family of Commuting Operators [text] / Ye. Ye. Samoilenko // Proceedings of Institute of Mathematics of NAS of Ukraine, – 2004. – 50, № 3. – P. 1192–1194.
5. Власенко М. А. О конфигурациях подпространств гильбертова пространства с фиксированными углами между ними [текст] / М. А. Власенко, Н. Д. Попова // Укр. мат. журн. – 2004. – 56, № 5. – С. 606–615.
6. Самойленко Ю. С. О простых n-ках подпространств гильбертова пространства [текст] / Ю. С. Самойленко, А. В. Стрелец // Укр. мат. журн. – 2009. – 61, № 12. – С. 1668–1706.
7. Кругляк С. А. Об унитарной эквивалентности наборов самосопряженных операторов [текст] / С. А. Кругляк, Ю. С. Самойленко // Функцион. анализ. и его прил. – 1980. – 14, № 1. – С. 60–62.

## АЛГОРИТМИ ОПЕРАЦІЙ НАД МАТРИЦАМИ-ОРТОПРОЕКТОРАМИ С $M_n(\mathbb{C})$

Бурное развитие интегрированных систем компьютерной математики для персональных компьютеров коснулось наиболее интеллектуальной сферы деятельности человека – решение особенно сложных математических и научно-технических задач: задачи теории поля, аэродинамики, космонавтики, математического моделирования систем и т. д. Но математические методы находятся в постоянном эволюционном развитии и поэтому последние достижения математических научных школ не являются охваченными такими интегрированными системами. Одна из таких областей математического инструментария – операторные  $C^*$ -алгебры. Всё это связано с потребностями и запросами современной физики. В данной работе рассмотрено матрицы специального вида:  $M = m^* \cdot m$ ,  $D = d^* \cdot d$ ,  $M(k) = m^*(k) \cdot m(k)$  и найдено простые формулы, которые отображают их основные свойства:  $|m| = \sqrt{|m_1|^2 + |m_2|^2 + \dots + |m_n|^2} = 1$ ,  $MDM = \tau^2 M \Leftrightarrow |m \cdot d^*|^2 = \tau^2$ ,  $M = U\hat{M}U^*$ ,  $M(k) = U\hat{M}(k)U^*$ . Проведено алгоритмизацию основных операций над матрицами-ортопроекторами с  $M_n(\mathbb{C})$ .

**Ключевые слова:** интегрированные системы; компьютерная математика; оператор; алгебра; матрица; ортопроектор; алгоритм.

E. E. Samoilenko,

Petro Mohyla Black Sea National University,  
Mykolayiv, Ukraine

## ALGORITHMS FOR OPERATIONS ON PROJECTION-MATRICES OF $M_n(\mathbb{C})$

The rapid development of integrated systems of computer mathematics for PCs affected most intellectual sphere of human activity – especially solving complex mathematical and scientific-technical problems, problems of field theory, aerodynamics, space, mathematical modeling systems and so on. But math methods are in constant evolutionary development and therefore the latest achievements of mathematical scientific schools are not covered by such integrated systems. One of the areas of mathematical tools –  $C^*$ -operator algebra. This is due to the needs and demands of modern physics. In this paper, it's the matrix of special type:  $M = m^* \cdot m$ . Matrix  $M$  is projection if and only if  $|m| = \sqrt{|m_1|^2 + |m_2|^2 + \dots + |m_n|^2} = 1$ . For this matrix presented algorithm of conversion to within unitary transformation from a complex-valued matrix-projection to real-valued matrix-projection: 1) obtaining initial data; 2) verification of source data; 3) schedule in the form projection; 4) finding out:  $U \cdot \hat{M} = \hat{m}^* \cdot \hat{m}$ ; 5) output results. And matrix properties of this type are investigated. That, matrix  $M = m^* \cdot m$ ,  $S = s^* \cdot s$ ,  $m = (m_1 \dots m_k \ m_{k+1} \ 0 \ 0 \ \dots \ 0)$ ,  $s = (0 \ \dots \ 0 \ 0 \ s_k \ s_{k+1} \ \dots \ s_n)$ ,  $m^* \cdot s \neq 0$  are orthogonal  $MS = SM = 0$  if and only if  $\bar{m}_k s_k + \bar{m}_{k+1} s_{k+1} = 0$ . And let matrix  $M \cdot D \in M_n(\mathbb{C})$  with complex elements are as follows:  $M = m^* \cdot m$ ,  $D = d^* \cdot d$ , where  $\forall i \in N = \overline{1, n}$   $m_i, d_i \in \mathbb{C}$ ,  $|m|^2 = 1$ ,  $|d|^2 = 1$  then  $MDM = \tau^2 M$  if and only if  $|m \cdot d^*|^2 = \tau^2$ . For family of  $M(k) = m^*(k) \cdot m(k)$ .

matrix, where  $m(k) = \left( \underbrace{0, \dots, 0}_{k-1}, \tilde{m}_k(k), \tilde{m}_{k+1}(k), \underbrace{0, \dots, 0}_{n-k-1} \right) \in \mathbb{C}^n$  presented algorithm of conversion to within unitary transformation from a complex-valued family of matrix-projection to real-valued family of matrix-projection and calculating  $F(\hat{M})$ -function of family this matrix: 1) obtaining initial data; 2) verification of source data; 3) schedule in the form projection; 4) finding out:  $U \cdot \hat{M}(k) = \hat{m}^*(k) \cdot \hat{m}(k)$ ; 5) calculating  $F(\hat{M})$ ; 6) output results. So, a algorithmization of basic operations of objects which are the matrix-projection and the family of the matrix-projections was made.

**Key words:** integrated systems; computer mathematics; operator; algebra; matrix; projection; algorithm.

Рецензенти: д. т. н., проф. А. Н. Хомченко;  
к. т. н., доц. І. О. Кравець.

© Самойленко Є. Є., 2016

Дата надходження статті до редколегії 10.11.16

## АДАПТИВНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИМ ПРИСТРОЄМ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЛИТТЯ НА БАЗІ НЕЙРО-НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА

*Ця робота присвячена дослідженню та розробці адаптивної системи управління установкою електрогідравлічної очистки лиття (ЕГОЛ), що базується на використанні системи нечіткого і логічного висновку та нейро-нечітких мереж, для підвищення показників ефективності та стабільності роботи. Стратегія та оптимальний вибір функцій були обговорені. Результати моделювання представлені для перевірки продуктивності адаптивного управління.*

**Ключові слова:** нечітка логіка; нейро-нечіткі мережі; зачистка електричного заряду.

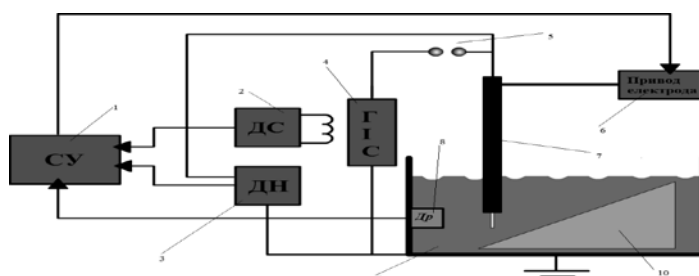
У техніці імпульсної обробки матеріалів електричний розряд у рідині часто відіграє роль основного діючого механізму в різних процесах. Найбільше поширення з точки зору технічного застосування електровибуху у воді отримала технологія очистки лиття від формувальної і стрижневої суміші. Технологічним завданням очищення виливків є руйнування стрижневої суміші, розташованої у внутрішніх порожнечках і на поверхні виливків і забезпечення умови її виносу гідропотоком. Існують різні методи очистки лиття: хімічний, ручний, піскоструминний, гідравлічний, гідроімпульсний. Виконання очистки лиття гідроімпульсним методом здійснюється за допомогою перетворення електричної енергії у механічну без проміжних ланок. Це перетворення забезпечує використання фізичного явища, що відомо за назвою електродіафрагмального ефекту (ЕДЕ).

В установці очистки лиття, використовується електровибухове перетворення енергії в каналі високовольтного розряду в рідині.

Відомі системи керування установками електрогідравлічної очистки лиття (ЕГОЛ) не забезпечують підтримку заданих режимів розряду при зміні технологічних параметрів і зовнішніх умов, що знижує ефективність електровибухового перетворення енергії, що звужує область застосування енергоефективних електророзрядних технологій.

Існуючі алгоритми управління ЕГОЛ зазвичай призначені для позиціонування робочого електроду в окремих точках заготівлі, але зовсім не передбачають повністю автоматичного управління, тобто наявна повна відсутність інтелектуальної складової.

Спрощена комплексна структурна схема установки ЕГОЛ зображено на рис. 1



**Рис. 1.** Структура установки ЕГОЛ:

- 1- система управління; 2 – датчик струму;
- 3 – датчик напруги; 4 – генератор імпульсних струмів;
- 5 – розрядник; 6 – електроприводи пересування електроду;
- 7 – електрод; 8 – датчики питомого опору;
- 9 – технологічний бак з водою; 10 – об'єкт обробки.



При зміні технологічних параметрів і зовнішніх умов задача полягає в необхідності синтезувати коригувальні пристрої та алгоритми, які нададуть системі управління властивості адаптивності. Це забезпечить розширення зони управління та підвищення точності підтримки оптимальних режимів в умовах невизначеності зовнішніх впливів та зміни технологічних характеристик процесу.

У цій статті досліджується адаптивний алгоритм управління ЕГОЛ, що базується на системах нечіткого висновку та нейронних мережах (метод нейро-нечітких мереж).

Основна ідея, покладена в основу нейро-нечітких мереж полягає в тому, що висновки робляться на основі апарату нечіткої логіки, а для знаходження пара-

метрів функцій приналежності використовуються алгоритми навчання нейронних мереж.

Синтез алгоритму нечіткого контролеру для фаззи-апроксимації залежностей між вхідними і вихідними координатами вектора стану об'єкта керування потребує визначення вхідних та вихідних змінних, створення бази правил та визначення функцій приналежностей змінних. У якості вхідних лінгвістичних змінних використовуємо  $I(n)$  (розрядний струм),  $\rho(n)$  (питомий опір). В якості вихідної змінної було обрано міжелектродний проміжок.

Кількість термів (лінгвістичних значень) для кожної змінної вибиралося рівної кількості рівнів значень за планом факторного експерименту. Функції приналежності (ФП) координат вхідного вектора  $I(n)$ ,  $\rho(n)$  апроксимувалися трапецієвидною функцією (рис. 2).

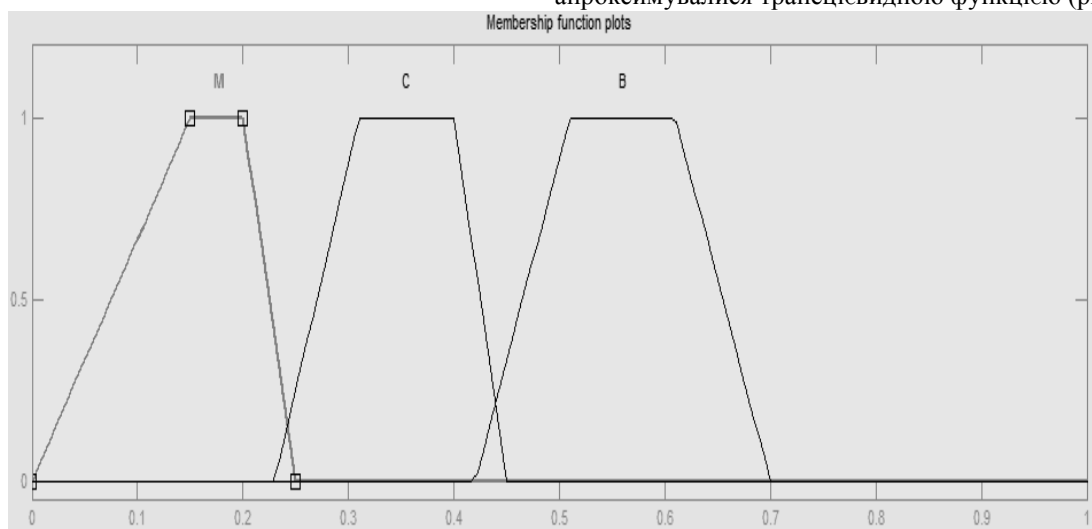


Рис. 2. Функції приналежності  $I(n)$

База правил була сформована на основі експериментальних даних (Табл. 1). База правил у вигляді нечітких логічних рівнянь «ЯКЩО А І В ТОДІ С», дозволяє зв'язати функцію приналежності вихідної

змінної й координати вхідного вектора, у результаті чого одержуємо лінгвістичні значення вихідної змінної.

Таблиця 1

**База правил системи нечіткого логічного висновку**

Питомий опір води Інформаційна змінна	ДМ	М		В	ДВ
	М	С	В		ДВ
С	М	М		В	В
В	ДМ	ДМ		М	ДМ

Таблиця 2

**Скорочення для значень термів лінгвістичних змінних**

Символічне значення	Ногація
ДМ	Дуже мале
М	Мале
С	Середнє
В	Велике
ДВ	Дуже велике

Модель нечіткого висновку може бути представлена у вигляді нечіткої мережі, за структурою іденти-

чно багатозарової нейронної мережі з прямим розповсюдженням сигналу (Рис. 3).

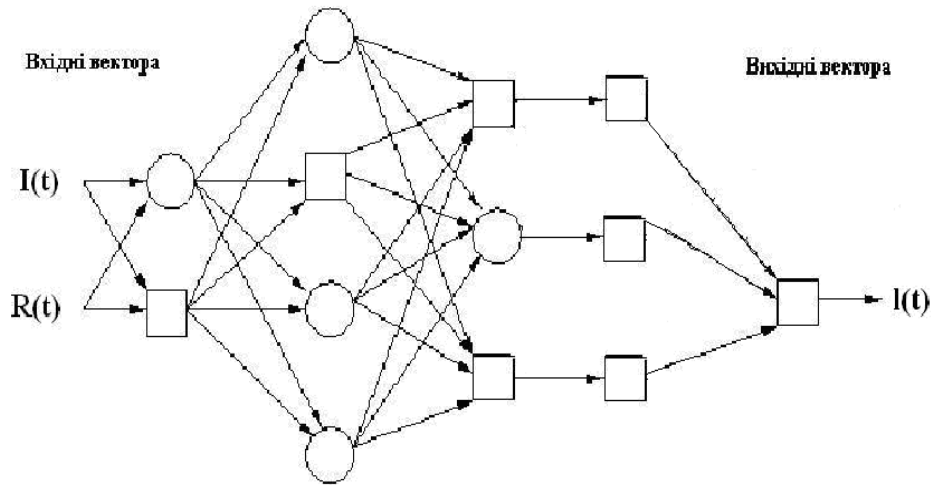


Рис. 3. Структура нейро-нечіткої мережі

Після того, як визначено число прошарків і кількість нейронів в кожному з них, потрібно знайти значення для їх параметрів (параметрами функцій приналежності, нечітких вирішальних правил), які спроможні мінімізувати похибку спродукованого результату. Саме для цього існують алгоритми навчання, де відбувається підгонка моделі мережі до наявних навчальних даних. Похибка для конкретної моделі мережі визначається шляхом проходження через мережу всіх навчальних прикладів і порівняння спродукованих вихідних значень з бажаними значеннями. Множина похибок створює функцію похибок, значення якої можна розглядати, як похибку мережі. В якості функції похибок найчастіше використовують суму квадратів похибок. Корегування параметрів нейронів виконується з використанням гібридного градієнтного методу (комбінація методів найменших квадратів та зворотнього розповсюдження).

Нині найбільш поширеною архітектурою є архітектура ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System). Використовуваний клас нейро-нечітких мереж є функціонально еквівалентним системі нечіткого виводу.

Кожний шар в ANFIS реалізують окремий етап нечіткого висновку.

1-й шар : виконує функцію введення нечіткості. Кожен вузол в цьому шарі є вузлом з функцією активації:

$$O_i^1(x) = \mu_{A_i}(x)$$

де  $x$  – є входом в цей вузол,  $A_i$  – лінгвістичної змінної (для лінгвістичної оцінки вхідних змінних).

Іншими словами,  $O_i^1(x)$  є функцією належності до  $A_i$ , і визначає ступінь, з якою  $x$  належить даному квантору.

Зазвичай вибирають  $\mu_{A_i}(x)$  з максимумом рівним 1 і мінімумом, що дорівнює 0. Для цього підходять дзвоноподібна функція приналежності:

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[ \frac{(x - c_i)^2}{a_i} \right]^{b_i}}$$

Або гаусівська функція :

$$\mu_{A_i}(x) = e^{-\frac{(x - c_i)^2}{a_i}}$$

де  $a_i, b_i, c_i$  – це набір параметрів. У зв'язку з зміною цих параметрів, функція теж змінюється відповідним чином, представляючи різні форми функцій приналежності лінгвістичних змінних.

2-й шар : нейрони даного шару виконують множення вхідних сигналів і представляють собою вагу правила:

$$w_i = \prod_{j=1}^m \mu_{A_{ij}}(x)$$

де  $m$  – кількість вхідних сигналів (тобто нечітких правил).

3-й шар : визначається  $i$ -й нейрон, що обчислює відношення ваги правила до суми ваг усіх правил:

$$\bar{w}_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^m w_i}$$

4-й шар : виконується функція активація нейронів за формулою:

$$O_i^4(x) = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)$$

де  $\bar{w}_i$  – вихід слою 3, а  $\{p_i, q_i, r_i\}$  параметри правил Такагі-Сугено 1-го порядку.

5 – й шар: єдиний нейрон даного шару обчислює загальний вихід як суму вхідних сигналів:

$$O_1^5(x) = output = \sum w_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}$$

Адаптивними шарами є перший і четвертий шари, в яких відбувається корегування параметрів функцій

приналежності і параметри нечітких правил відповідно.

Після реалізації алгоритму результат його роботи було порівняно з фактичними даними.

На рис. 4 показаний графік прогнозованих значень міжелектродного проміжку на основі створеного програмного алгоритму, а також фактичні значення міжелектродного проміжку.

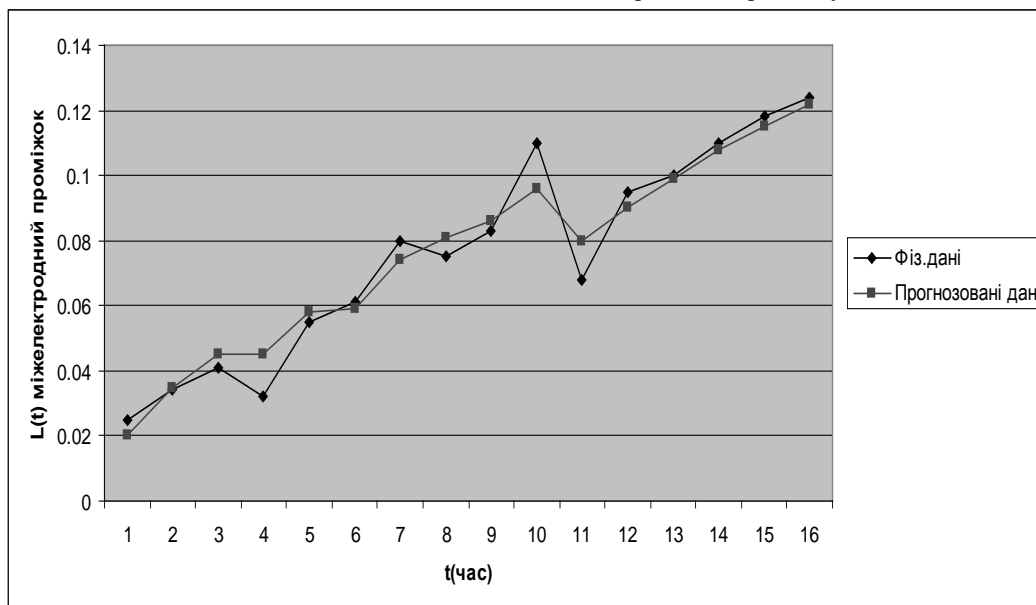


Рис. 1. Графік прогнозованого і фактичного значення міжелектродних проміжків для нейро-нечіткої мережі

Результати випробування реалізованої адаптивної система управління показали, що середня помилка прогнозування становить 1.5 %.

Висновки. Порівняння існуючих систем управління релейного типу та розробленої адаптивної системи показала, що її використання є найбільш ефективним, оскільки дозволяє забезпечувати необхідні режими

роботи в умовах зовнішніх збурень та повністю автоматизувати процес. Розроблений програмний комплекс, порівняно з існуючими установками релейного типу, дозволив підвищити ефективність технологічного процесу на 30 %.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов Ф. С. Нечеткие модели и сети. – М. : Горячая линия. – Телеком, 2007.
2. J.-S. R. Jang, «ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System», IEEE Trans. Systems & Cybernetics, vol. 23, P. 665–685, 1993
3. Круглов В. В, Дли М. И. , Голунов Р. Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети – М. : Горячая линия. – Телеком, 2007.
4. Гулый Г. А. Научные основы разрядноимпульсных технологий. Проектно-конструкторское бюро электрогидравлики. – К. : Наукова думка, 1990. – 208 с. – ISBN 5.12.001640.5.
5. Голобородько А. Н. Управление движением источника электроимпульсных воздействий / А. Н. Голобородько, С. С. Козырев, Н. С. Назарова // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Тематический выпуск «Техника и электрофизика высоких напряжений». – 2005. – № 49. – С. 119–124.

**А. Н. Голобородько,**  
Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы,  
г. Николаев, Украина

## АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЛИТЬЯ НА БАЗЕ НЕЙРО-НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

*Данная работа посвящена исследованию и разработке адаптивной системы управления установкой электрогидравлической очистки литья (ЕГОЛ), основанной на использовании систем нечеткого логического вывода и нейро-нечетких сетей, для повышения показателей эффективности и стабильности работы. Стратегия и оптимальный выбор функций обсуждались. Результаты моделирования представлены для проверки производительности адаптивного управления.*

**Ключевые слова:** нечеткая логика; нейро-нечеткие сети; зачистка электрического заряда.

**A. M. Goloborodko,**  
Petro Mohyla Black Sea National University,  
Mykolayiv, Ukraine

## ADAPTIVE MANAGEMENT SYSTEM OF HIGH-VOLTAGE DEVICE FOR CLEANING POURING BASED FUZZY REGULATOR

*This paper presents research and development of adaptive control system of electrical discharge fettling a casting device, which is based on system of fuzzy logic resume and neuro-fuzzy networks usage for indices of effectiveness increasing and consistency of operation. Strategy and optimal track selection subject to an associated cost function are discussed. Simulation results are shown to validate the performance of adaptive control.*

**Key words:** fuzzy logic; neuro-fuzzy network; electrical discharge fettling.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. П. Мусієнко;**  
к. т. н., доц. **І. М. Журавська.**

© Голобородько А. М., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 16.09.16*

**Дворецький М. Л.,**  
ст. викладач кафедри інженерії  
програмного забезпечення,  
mykhaylo.dvoretzky@chmnu.edu.ua

**Боровльова С. Ю.,**  
ст. викладач кафедри інженерії  
програмного забезпечення,  
svetlana.borovlyova@chmnu.edu.ua

**Давиденко Є. О.,**  
канд. техн. наук, доцент (б.в.з.) кафедри  
інженерії програмного забезпечення,  
ЧНУ ім. Петра Могили,  
м. Миколаїв, Україна,  
davydenko@chmnu.edu.ua

## ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРИ РОЗПОДІЛЕНОЇ БД НА БАЗІ ПАРСИНГУ SQL-ЗАПИТІВ

У рамках дослідження розглянута специфіка оперативного обліку, пов'язана із переходом від локальних до розподілених БД. Ця тенденція обумовлена наявністю різних типів обліку, наявністю географічно віддалених АРМ та необхідністю в консолідованому обліку. У світі необхідності використання розподіленої структури БД актуальним постає питання вибору оптимальної стратегії збереження для відповідних фрагментів даних розподіленої БД, а також методів та засобів їх подальшої синхронізації у випадку їх зміни та/або для виконання подальшого їх консолідованого аналізу підсистемами оперативно-аналітичної обробки даних.

Дослідження ставить на меті підвищення швидкості виконання локальних SQL-запитів із збереженням значення ступеня актуальності даних у межах допустимого значення за рахунок оптимізації структури віддаленого автоматизованого робочого місця на базі парсингу користувацьких SQL-запитів та кластеризації множини відношень центральної БД.

На першому етапі розроблено підсистему обліку користувацьких запитів із можливістю їх подальшої класифікації згідно приналежності до того чи іншого автоматизованого робочого місця, географічного розташування, ролі користувача та інших критеріїв. Класифікація, в залежності від параметру, здійснюється як в автоматичному, так і в ручному режимах. Окремим етапом є здійснення парсингу тексту запитів з метою виявлення списку відношень та атрибутів. Задачу парсингу коду SQL-запиту запропоновано вирішити за допомогою використання проекту з відкритим кодом ANTLR.

Остаточний аналіз, що виконується на базі отриманих даних дозволяє отримати список БД та відношень, що мають бути доступними, та ранжувати його за різними критеріями. Деякі відношення потребують окремої уваги при прийнятті рішення щодо їх розміщення у віддаленій БД. У цьому випадку мають бути розглянуті їх проєкції, що використовуються в різних запитах, та горизонтальне розбиття відношення через вказання діапазону ключів.

**Ключові слова:** інформаційна система; розподілена база даних; розподілена транзакція; консолідований облік; система керування базами даних; SQL-запит; автоматизоване робоче місце; парсинг; профайлінг; ANTLR; синхронізація даних; ETL-система.

**Постановка проблеми.** Інформаційні системи (ІС), що є взаємозалежною сукупністю засобів, методів і персоналу, мають на меті зберігання, обробку та представлення інформації [1]. Створюючи базу даних, користувач прагне впорядкувати інформацію з різних ознак для швидкого отримання потрібних відомостей з довільним сполученням ознак. У розвитку сучасних

інформаційних систем намітилася тенденція переходу від локальних баз даних до створення розподілених баз [2]. Це пов'язано із деякими особливостями ведення обліку на підприємстві [3].

По перше цей факт обумовлено необхідністю автоматизації різних типів обліку, таких як складський, бухгалтерський облік, облік кадрів, розробка інфор-

маційних порталів, систем відеоспостереження, контролю прав доступу та ін. Автоматизація всіх видів обліку в одній універсальній системі має свої переваги, але недоліків, пов'язаних із таким підходом, значно більше [4]. Серед них можна навести такі, як перевантаженість центральної БД великою кількістю даних та користувачів, низька відмовостійкість, вразливість системи та недостатньо розвинені механізми обліку більшості напрямків автоматизації.

Другим аспектом, що може обумовити необхідність створення та використання бази даних розподіленої структури, може бути холдингова структура об'єкта автоматизації та/або географічна віддаленість філіалів підприємства. Звичайно, в даному випадку також можливе використання центральної БД із роботою через виділений канал зв'язку або розміщення БД у хмарі [5, 6]. Але цей підхід, знову ж таки збільшує навантаження на центральну БД, канали зв'язку, та знижує відмовостійкість системи. Крім того, існують фрагменти даних, що мають бути оперативно доступними 24/7 незалежно від наявності зв'язку, навіть за рахунок втрати їх актуальності.

Використання різних систем автоматизації або наявність декількох віддалених філіалів компанії із окремими системами автоматизації обліку зумовлює необхідність консолідованого аналізу даних відносно об'єкту автоматизації в цілому. При використанні декількох БД та у деяких випадках навіть декількох різних СКБД задача може бути вирішена за допомогою використання розподілених транзакцій [7, 8], але даний підхід не можна назвати оптимальним. Іншим підходом є використання підсистем синхронізації даних із різних оперативних джерел даних із використанням ETL-систем [9].

Вищенаведені фактори, а також деякі інші аспекти, зумовлюють актуальність розподілених баз даних. Розподілена база даних (DDB – distributed database) – це сукупність взаємопов'язаних баз даних, розподілених у комп'ютерній мережі. Система управління розподіленою базою даних визначається як програмна система, яка управляє базою даних у такий спосіб, щоб її розподіленість була прозорою для користувачів [10]. Прозорість – це поняття незалежності даних у розподілених системах, яке передбачає, що користувач у цій системі працює з розподіленою базою даних як з логічно цілісною сукупністю даних, тобто на його роботу не повинно впливати те, як дані розподілені між вузлами мережі. Отже, в розподіленій системі користувачеві надається логічно цілісне подання фізично розподіленої бази даних.

На ринку програмних засобів з'явилися розподілені СКБД, які дають змогу підтримувати та обробляти базу даних у багатокористувацьких системах. Основною задачею розподіленої СКБД є забезпечення управління доступом до даних багатьох споживачів і цілісності й узгодженості даних в умовах використання мережі ЕОМ. Тобто основна функція таких СКБД – це координування спільної роботи багатьох користувачів з розподіленою інформацією [11]. Розв'язання проблеми автономності роботи користувачів розподіленої системи створює багато специфічних проблем в організації баз даних, оскільки різні користувачі мо-

жуть працювати паралельно з одними й тими самими даними, виконуючи з ними різні перетворення.

Враховуючи вищесказане актуальним постає питання вибору оптимальної стратегії збереження для відповідних фрагментів даних розподіленої БД, а також методів та засобів їх подальшої синхронізації у випадку їх зміни та/або для виконання подальшого їх консолідованого аналізу підсистемами оперативної аналітичної обробки даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує декілька підходів щодо представлення даних у БД розподіленої структури. Розподілена стратегія без дублювання визначає дані, які потрібно зберігати в кожному вузлі мережі. Проектування даних за такої стратегії є складною задачею. Ключовим фактором, який впливає на надійність і доступність бази даних, є так звана локалізація посилань. Розглянута стратегія підходить для тих предметних областей, в яких практично немає дублювання даних у різних вузлах мережі і потрібна мінімальна кількість логічних посилань для виконання інформаційних взаємозв'язків вузлів одного з одним. Тобто користувач кожного вузла працює зі своїми файлами і досить рідко використовує дані інших вузлів мережі. Головним суттєвим недоліком цієї стратегії є необхідність використання розподілених транзакцій при умові існування взаємозалежних даних на різних вузлах мережі. По-перше, використання розподілених транзакцій передбачає одночасну доступність всіх вузлів у мережі. По-друге, блокування, накладені на кожному окремому вузлу будуть зняті лише після повного завершення роботи розподіленої транзакції [7, 11, 12, 13].

Розподілена (децентралізована) стратегія з дублюванням полягає в тому, що база даних проектується як за централізованого підходу, але фізично дублюється в кожному вузлі мережі. Кожний вузол має свою копію, продубльовану стільки разів, скільки вузлів у мережі. Стратегія розподілу з дублюванням найбільш ефективно розв'язує проблеми доступу та вибірки даних з мінімальними витратами часу. Цей підхід характеризується складністю адміністрування та розв'язання проблеми узгодженості файлів БД у різних вузлах мережі. Найбільш гостро ця проблема постає тоді, коли зв'язок у мережі порушується і в копії в різних вузлах виникають розбіжності. У цьому разі потрібно розробити спеціальний механізм для узгодження деяких копій бази даних [8, 12, 13].

Комбінована стратегія розподілу даних поєднує два підходи, пов'язані з розподілом без дублювання та з дублюванням даних, з метою використання їх переваг. Остання стратегія є найбільш виправданою із точки зору можливості поєднання переваг всіх попередніх. Але при її використанні, окрім задачі синхронізації дубльованої інформації, актуальною постає задача оптимального проектування структури БД з точки зору приналежності даних до категорії того чи іншого вузла мережі [11, 12, 13]. Крім того, продуктивність системи напряму буде залежати від прийняття рішення щодо необхідності часткового або повного дублювання даних.

Загальні рекомендації щодо вибору тієї чи іншої стратегії збереження та подальшої синхронізації да-

них або не враховують специфіку системи обліку об'єкта автоматизації, або особливості її використання на тому чи іншому підприємстві. Отже вважається за необхідне проведення попереднього розбиття множини відношень централізованої БД на підмножини на базі результатів парсингу користувацьких SQL-запитів із визначенням їх перетинів із подальшою їх мінімізацією, оскільки однією з основних проблем розподілених БД є задача синхронізації даних, що дублюються.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є підвищення швидкості виконання локальних SQL-запитів із збереженням значення ступеня актуальності даних у межах допустимого значення за рахунок оптимізації структури віддаленого автоматизованого робочого місця на базі парсингу користувацьких SQL-запитів та кластеризації множини відношень центральної БД. Гіпотеза полягає у тому, що у результаті парсингу SQL-запитів, що надходять до централізованої СКБД від АРМ, попередньо класифікованих за ознаками приналежності до групи користувачів, фізичного розташування (віддаленості) та оцінкою необхідного ступеня актуальності даних, можливо отримати множини відношень БД інформаційної системи та провести її кластеризацію за ступенем «близькості» відношень у запитах. Виконаний аналіз дозволить провести оптимізацію структури БД віддаленого АРМ, що у свою чергу призведе до підвищення швидкості та ефективності використання ПЗ інформаційної системи.

Досягнення поставленої мети вимагає: проведення аналізу предметної області для побудови коректної моделі класифікації користувацьких SQL-запитів за ознаками приналежності до групи користувачів, фізичного розташування (віддаленості) та оцінкою необхідного ступеня актуальності даних; досліджен-

ня методів створення і використання формальних граматики та розробка підсистеми парсингу коду SQL-запитів до центральної БД; виконання розбиття множини відношень (таблиць) на підмножини, виявлення перетинів отриманих підмножин, їх аналіз та виявлення ступенів актуальності та швидкості отримання даних; реалізація механізмів синхронізації даних між віддаленими вузлами РБД для підмножини відношень із асинхронним режимом оновлення даних.

**Виклад основного матеріалу.** Першим кроком даного дослідження є створення підсистеми обліку користувацьких запитів із можливістю їх подальшої класифікації згідно приналежності до того чи іншого автоматизованого робочого місця, географічного розташування, ролі користувача та інших критеріїв, що можливо додати до системи динамічно під час її використання згідно з особливостями тієї чи іншої предметної області.

На концептуальному рівні у вищезазначеній моделі можна виділити наступні сутності. Місце розташування – характеризується атрибутами назва, приналежність до БД, швидкість каналу зв'язку та його надійність (по шкалі від 1 до 10 – визначається згідно статистики відмов або, у разі її відсутності, за відгуками користувачів програмного забезпечення); робоча станція із атрибутами назва, місце розташування, приналежність до типу автоматизованого робочого місця та список програмного забезпечення; а також набір сутностей без додаткових атрибутів, таких як програмне забезпечення, типи автоматизованого робочого місця, БД, відношення та ін. Основним відношенням є список користувацьких запитів. Сутність користувацький запит характеризується такими атрибутами, як список відношень, робоча станція та програмне забезпечення. Логічну архітектуру моделі наведено на рис. 1.

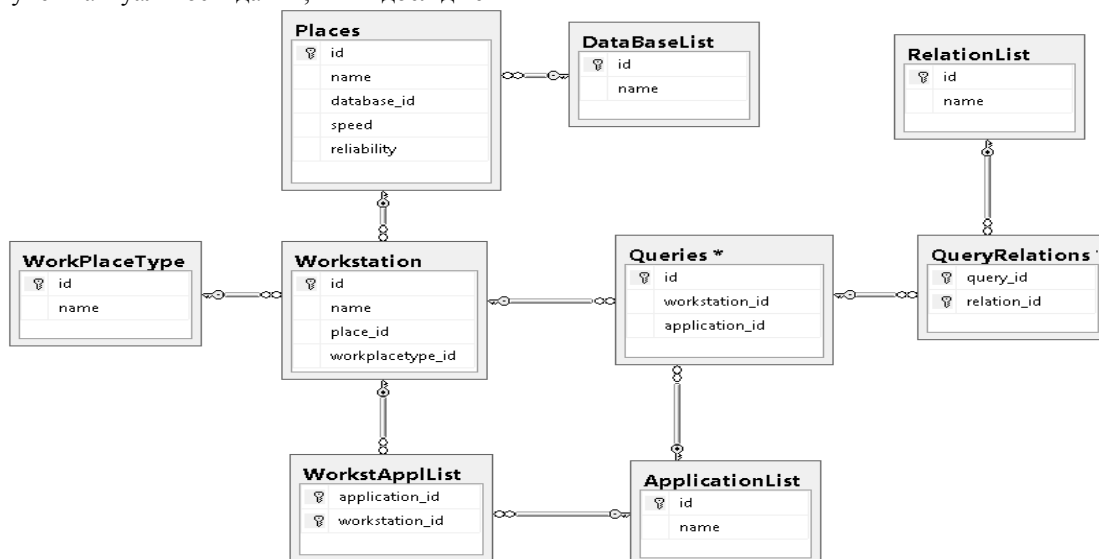


Рис. 1. Логічна архітектура підсистеми профайлінгу користувацьких SQL-запитів

Підсистема має користувацький інтерфейс, що складається з форм вводу та редагування даних для таких сутностей, як типи автоматизованого робочого місця, робочі станції, місця розташування, бази даних та програмне забезпечення. Крім того, передбачені механізми імпорту даних із текстових та csv файлів

для можливості взаємодії із сторонніми програмними продуктами при заповненні даних наприклад по таким сутностям, як програмне забезпечення або список робочих станцій. Ця інформація може бути отримана наприклад із ActiveDirectory або із використанням таких безкоштовних програмних продуктів, як

Advanced IP Scanner, NetWrix Inactive Users Tracker або WinAudit Freeware. Звісно, у випадку використання операційної системи, відмінної від Microsoft Windows існує багато інших адміністративних засобів, що дозволяють отримати такого роду інформацію.

Однак поряд із звичними формами вводу та засобами імпорту даних із стороннього ПЗ присутні сут-

ності, що наповнюються даними виключно із використанням методів сканування структури БД. Так, наприклад, список відношень БД у випадку використання системи керування базами даних MS SQL Server може бути оновлено із використанням наступного скрипта SQL, наведеного на рис. 2.

```

delete from RelationList
where id not in(select query_id from QueryRelations)

declare @max_id int = (select isnull(max(id), 0) from RelationList)

insert into RelationList(id, name)
select ROW_NUMBER() over(order by object_id) + @max_id, name
from sys.objects
where type = 'U'
    
```

Рис. 2. T-SQL скрипт для оновлення даних в списку відношень бази даних

Цей фрагмент коду наведено для випадку використання однієї із версій MS SQL Server. Переважна більшість сучасних систем керування реляційними базами даних, таких як Oracle, MySQL, PostgreSQL, FireBird та ін., також мають у своєму розпорядженні механізми по отриманню даних списку користувачьких таблиць, але синтаксис команд при цьому буде різнитися. Виходячи із цього, програмно дана частина реалізована за допомогою композиції із використанням шаблону ООП «стратегія», отже достатньо лише обрати СКБД, що підтримується в налаштуваннях ПЗ, наступні ж дії для користувача не будуть відрізнятися ніяким чином.

Наступним кроком є заповнення основного відношення – списку користувачьких запитів із прив'язкою до робочої станції на програмного забезпечення, що генерує той чи інший запит. Сучасні СКБД мають у своєму розпорядженні досить розвинені механізми профайлінгу користувачької активності. В даній публікації розглянуто приклад отримання даних у випадку роботи із однією із версій MS SQL Server. Однак у випадку використання іншої СКБД, існують схожі за функціоналом утиліти, що можуть бути використані. На рис. 4–5. наведено екрану форма ПЗ MS SQL Profiler при налаштуванні та зборі даних щодо користувачьких SQL-запитів.

Trace Properties

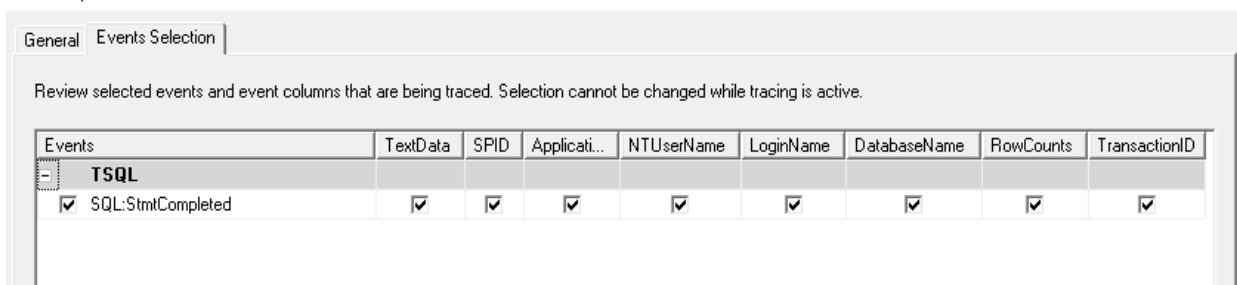


Рис. 4. Налаштування SQL Server Profiler для відстеження користувачьких SQL-запитів

EventClass	TextData	SPID	ApplicationName	NTUserN...	LoginName	DatabaseName	RowC...	TransactionID
SQL:St...	SET SHOWPLAN_ALL OFF	53	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	master	0	
SQL:St...	SET SHOWPLAN_XML OFF	53	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	master	0	
SQL:St...	use [QueryProfilerSystem]	53	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	QueryProfile...	0	
SQL:St...	SELECT dtb.name AS [Name], dtb.stat...	55	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	master	8	99037
SQL:St...	SELECT SCHEMA_NAME(s.schema_id) AS ...	54	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	master	0	105102
SQL:St...	SELECT SCHEMA_NAME(xproc.schema_id)...	54	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	master	132	105117
SQL:St...	SELECT sst.name AS [Schema], st.nam...	54	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	master	0	105407
SQL:St...	SELECT SCHEMA_NAME(tt.schema_id) AS...	54	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	master	0	105423
SQL:St...	SELECT satypes.name AS [Schema], at...	54	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	master	0	105438
SQL:St...	delete from RelationList	53	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	QueryProfile...	0	105652
SQL:St...	delete from RelationList where id...	53	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	QueryProfile...	0	105780
SQL:St...	declare @max_id int = (select isnul...	53	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	QueryProfile...	1	105781
SQL:St...	insert into RelationList(id, name) ...	53	Microsoft SQL Ser...	michael	michael...	QueryProfile...	10	105782

```

SELECT
satypes.name AS [Schema],
atypes.name AS [Name]
FROM
sys.assembly_types AS atypes
INNER JOIN sys.assemblies AS asmb1 ON (asmb1.assembly_id = atypes.assembly_id) and (atypes.is_user_defined = 1)
INNER JOIN sys.schemas AS satypes ON satypes.schema_id = atypes.schema_id
ORDER BY
[Schema] ASC,[Name] ASC
    
```

Рис. 5. Відстеження користувачьких SQL-запитів в SQL Server Profiler



Як можна побачити, прив'язати запит та транзакцію до робочої станції та програмного забезпечення не представляє великої складності, оскільки ці дані вже явним чином представлені у таблиці, що надаються профайлінговими програмами. Однак отримати список відношень, що задіяні у запиті, не є зовсім тривіальною задачею, оскільки вимагає попереднього парсингу коду SQL-запиту та виділення з нього списку відношень, які були задіяні при зверненні до даних.

Задачу парсингу коду SQL-запиту запропоновано вирішити за допомогою використання проекту з відкритим кодом ANTLR. ANTLR – буквально англ. Another Tool For Language Recognition – генератор

парсерів, дозволяє автоматично створювати програму-парсер (як і лексичний аналізатор) однією з декількох цільових мов програмування (Java, C++, C#, Python, Ruby) за описом LL(\*)-граматики мовою, близькою до EBNF. Дозволяє конструювати компілятори, інтерпретатори, транслятори з різних формальних мов. Також, надає зручні засоби для відновлення після помилок, і повідомлення про них. ANTLR – продовження PCCTS (Purdue Compiler Construction Tool Set), який було розроблено 1989 року. (<https://uk.wikipedia.org/wiki/ANTLR>).

Загальний синтаксис команди select мови T-SQL наведено на рис. 6.

```
-- Syntax for SQL Server and Azure SQL Database

<SELECT statement> ::=
  [ WITH { [ XMLNAMESPACES , ] [ <common_table_expression> [ ,...n ] ] } ]
  <query_expression>
  [ ORDER BY { order_by_expression | column_position [ ASC | DESC ] }
  [ ,...n ] ]
  [ <FOR Clause> ]
  [ OPTION ( <query_hint> [ ,...n ] ) ]
<query_expression> ::=
  { <query_specification> | ( <query_expression> ) }
  [ { UNION [ ALL ] | EXCEPT | INTERSECT }
  <query_specification> | ( <query_expression> ) [ ,...n ] ]
<query_specification> ::=
  SELECT [ ALL | DISTINCT ]
  [ TOP ( expression ) [ PERCENT ] [ WITH TIES ] ]
  <select_list>
  [ INTO new_table ]
  [ FROM { <table_source> } [ ,...n ] ]
  [ WHERE <search_condition> ]
  [ <GROUP BY> ]
  [ HAVING < search_condition > ]
```

Рис. 6. Синтаксис команди select для SQL Server

Реалізація підсистеми парсингу T-SQL запитів починається із створення граматки. Правила пишуться в граматичі на спеціальній мові, заснованій на регулярних виразах. Синтаксис ANTLR знайомий більшості програмістів, тому що він схожий на

синтаксис C і його похідні з деякими розширеннями для опису граматки. На рис. 7. наведено фрагмент вихідного коду створеної граматки що відповідає за команду select.

```
select_statement
: with_expression? query_expression order_by_clause? for_clause? option_clause? ';'?'
;

query_expression
: (query_specification | '(' query_expression ')') union*
;

query_specification
: SELECT (ALL | DISTINCT)? (TOP expression PERCENT? (WITH TIES)?)?
select_list
// https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms188029.aspx
(INTO table_name)?
(FROM table_sources)?
(WHERE where=search_condition)?
// https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms177673.aspx
(GROUP BY group_by_item (',' group_by_item)*)?
(HAVING having=search_condition)?
;
```

Рис. 7. Фрагмент реалізації команди select SQL Server у середовищі ANTLR v4.

Для реалізації програмного забезпечення на базі створеної граматки була обрана мова програмування Java SE 1.8 та середовище созробки IDE Eclipse, що дозволяє створювати, редагувати граматку та автоматично генерувати класи лексора та парсера. Крім того IDE Eclipse надає у розворядження розробника можливість переглядати граматку у вигляді синтаксичної діаграми. На рис. 8–9 наведені

фрагменти реалізації реалізації команди select SQL Server у середовищі ANTLR v4 у вигляді синтаксичної діаграми.

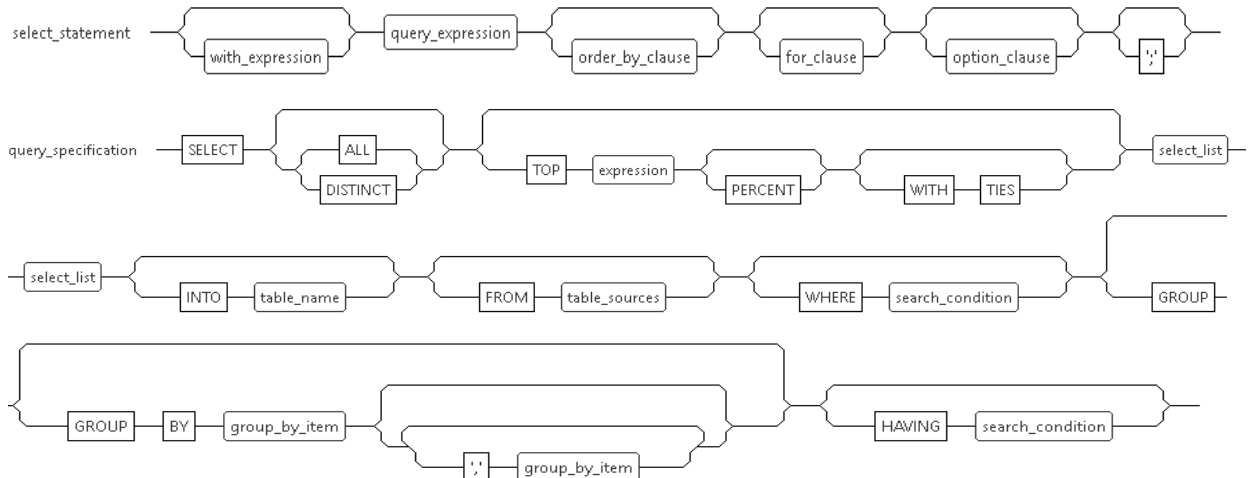


Рис. 8. Синтаксичні діаграми фрагменту реалізації команди select SQL Server у середовищі ANTLR v4 (част. 1)

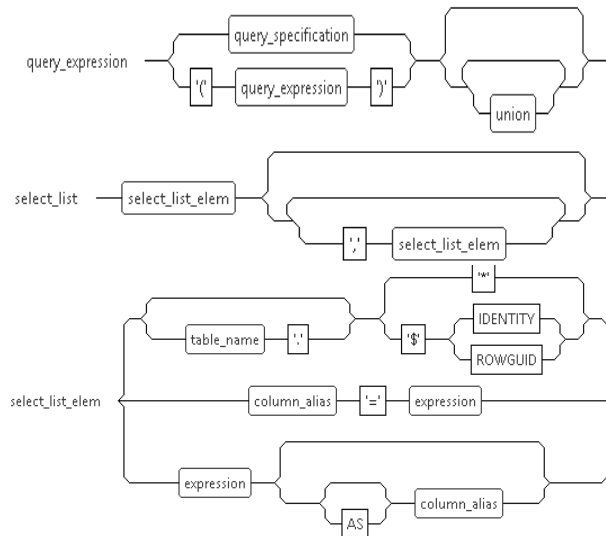


Рис. 9. Синтаксична ліаграми фрагменту реалізації команди select SQL Server у середовищі ANTLR v4 (част.2)

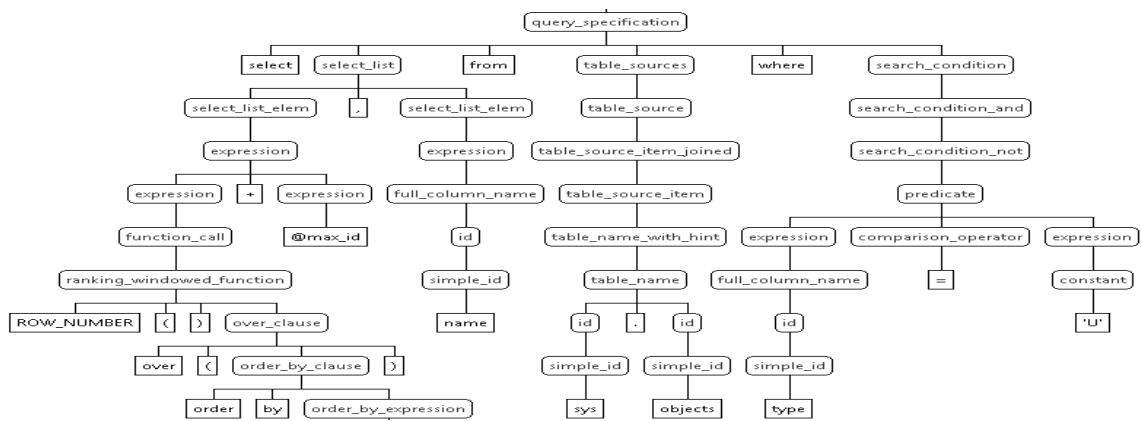


Рис. 10. Дерево парсингу тестового запиту T-SQL

У результаті виконання профайлінгу користувацьких SQL-запитів та парсингу їх тексту для визначення списку відношень, маємо таблицю наступного вигляду (рис.11). Результуюча таблиця отримується на базі запиту до БД, структура якої наведена на рис.1. та

представлена наступними атрибутами: тип робочого місця, база даних, місце розташування, програмне забезпечення, відношення (таблиця БД), запит, транзакція, тривалість виконання запиту та об'єм прочитаних даних у мб.

Тип робочого місяця	База даних	Місце розташування	Програмне забезпечення	Відношення	Запит (id)	Транзакція (id)	Тривалість м.с.	Об'єм, мб

Рис. 11. Результуюча таблиця користувацької активності

Остаточний аналіз, що виконується на базі отриманих даних, може бути проведено у різний спосіб. Так, наприклад, маючи постановку задачі про відкриття віддаленого філіала та список програмного забезпечення і типів робочих місць, що буде використовуватись, можна отримати список БД та відношень, що мають бути доступними для виконання користувачами поточних операцій. Список відношень БД може бути ранжовано відносно загальної та відносної тривалості виконання, об'єму прочитаних даних а також відносній представленості у загальній кількості запитів. Аналіз може проводитись у межах запиту, або у межах транзакції, що об'єднує у собі декілька запитів (команд), що сприймаються СКБД як єдиний неподільний сеанс активності.

Далі кожне з відношень отриманого списку аналізується на предмет доцільності розташування у віддаленій БД із подальшою необхідністю у синхронізації із центральною або використання напряду у центральній БД у рамках розподіленої транзакції. При прийнятті рішення враховуються наступні фактори. По перше, впливати буде ступінь використання відношення у загальній кількості запитів віддаленого АРМ. Чим вище показник використання, тим краще буде розташувати це відношення локально, тим самим підвищивши відмовостійкість системи. Другим впливовим чинником є кількість перетинів на відношенні з іншими віддаленими АРМ, що працюють із власною локальною копією даних. Крім того, окремо слід враховувати відносну кількість команд модифікації даних до загальної кількості звернень. У випадку великої кількості перетинів та операцій модифікації, більш бажаним є варіант звернення до центральної БД, оскільки досить складною постає задача подальшої синхронізації. Останнім із найбільш впливових факторів є ступінь актуальності даних, що вимагається від того чи іншого відношення да віддаленому АРМ. Чим вище ступінь актуальності, тим інтенсивнішим має бути обмін даними із центральною БД, а отже варіант розподіленої транзакції в даному випадку може мати свої переваги.

Відношення із максимальним ступенем використання, великою кількістю перетинів та операцій модифікації даних та ступенем актуальності даних звісно потребують окремої уваги при прийнятті рішення щодо їх розміщення у віддаленій БД. По перше, мають бути розглянуті проєкції, що використовуються в різних запитах, тобто проведений аналіз щодо частоти використання окремих атрибутів, особливо в операціях модифікації даних. За рахунок цього, кількість перетинів на відношенні може бути значним чином зменшена за рахунок їх заміщення перетинами на підмножинах проєкцій відношення. Якщо ж змеш-

нити кількість перетинів за рахунок введення проєкцій не вдається, можливе горизонтальне розбиття відношення через вказання діапазону ключів. Але таке розбиття стає можливим тільки у випадку використання в різних вузлах різних фрагментів даних відношення та вимагає більш детального аналізу звернень до відношення на рівні деталізації запис.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У ході виконання дослідження було розроблено підсистему обліку та класифікації користувацьких SQL-запитів за такими ознаками, як приналежність до робочої станції, дислокації, бази даних, типу автоматизованого робочого місяця та програмного забезпечення. Закладена можливість створювати користувацькі характеристики класифікації для можливості при необхідності введення додаткових аналітичних розрізів аналізу.

Для виявлення списку відношень та їх атрибутів із загального тексту отриманого SQL-запиту було реалізовано підсистему парсингу на базі формальних граматики та за допомогою використання проекту з відкритим кодом ANTLR. Також закладені механізми по автоматичному заповненню даними деяких сутностей. Ці операції можуть бути виконані через проміжні структури типу txt або csv, сформовані сторонніми ПЗ, наприклад на базі системних адміністративних утиліт. Дані механізми можуть бути корисними при оновленні інформації таких сутностей, як списки програмного забезпечення, робочих станцій, користувачів та ін.

Отримані дані аналізуються на предмет визначення для відношень БД ступенів використання та перетинів з іншими АРМ для формулювання рекомендацій щодо представлення копії відношення у локальній БД із подальшою синхронізацією із головною версією центральної БД, або роботи із ним у рамках розподіленої транзакції. При отриманні суперечливих результатів запропоновано проведення поглибленого аналізу відношення шляхом вивчення проєкцій та фільтрів за діапазонами ключів, що використовуються в запитах.

Результатом дослідження є підвищення швидкості виконання локальних SQL-запитів із збереженням значення ступеня актуальності даних у межах допустимого значення за рахунок оптимізації структури віддаленого автоматизованого робочого місяця на базі парсингу користувацьких SQL-запитів та кластеризації множини відношень центральної БД. Виконаний аналіз дозволяє провести оптимізацію структури БД віддаленого АРМ, що у свою чергу призводить до підвищення швидкості та ефективності використання ПЗ інформаційної системи.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Сутність інформаційних технологій й інформаційних систем [Електроний ресурс]. Режим доступу : URL: <http://studopedia.org/10-121662.html>.
2. Фісун М. Т. Аналіз та вибір моделей даних при створенні систем автоматизованого проектування / М. Т. Фісун, С. О. Давиденко // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2013 – №2(447). – С. 89–94.
3. Исаев Г. Н. Проектирование информационных систем. Учебное пособие. Омега-Л, 2015 г. – 424 с.
4. Гладкий А. Складской учет на компьютере. Лучшие программы, включая 1С 8.2. Литрес, 2013. – 410с.
5. Десять самых полезных сервисов облачных баз данных [Електроний ресурс]. – Режим доступу : URL: <https://www.databases.com.ua/article/10-cloud-services-databases>.
6. Edward Mahon. Transitioning the Enterprise to the Cloud: A Business Approach. 2015. – 178 p.
7. Управление транзакциями в ORACLE [Електроний ресурс]. – Режим доступу : URL: <http://www.novsu.ru/file/96492>.
8. Петкович Д. Microsoft SQL Server 2008. Руководство для начинающих. Пер.с англ. – СПб. : БХВ-Петербург, 2009. – 752 с.
9. Ralph Kimball, Joe Caserta. The Data Warehouse ETL Toolkit: Practical Techniques for Extracting, Cleaning, Conforming, and Delivering Data. 2014. – 528 p.
10. M. Tamer Özsu, Patrick Valduriez. Principles of Distributed Database Systems 3rd ed. Springer, 2011. – 845 p.
11. М. Тамир Озсу, Патрик Валдуриэ. Распределенные и параллельные системы баз данных. [Електроний ресурс]. – Режим доступу : URL: [http://citforum.ru/database/classics/distr\\_and\\_paral\\_sdb/](http://citforum.ru/database/classics/distr_and_paral_sdb/).
12. Автоматическая синхронизация распределенных баз данных в разделенном режиме [Електроний ресурс]. – Режим доступу : [http://stimul.kiev.ua/materialy.htm?a=avtomaticheskaya\\_sinkhronizatsiya\\_raspredelennykh\\_baz\\_dannykh\\_v\\_razdelennom\\_rezh](http://stimul.kiev.ua/materialy.htm?a=avtomaticheskaya_sinkhronizatsiya_raspredelennykh_baz_dannykh_v_razdelennom_rezh).
13. Использование синхронных и асинхронных операций базы данных [Електроний ресурс]. – Режим доступу : URL:[http://help.adobe.com/ru\\_RU/as3/dev/WS5b3cc\\_c516d4fbf351e63e3d11866bade46-7d39.html](http://help.adobe.com/ru_RU/as3/dev/WS5b3cc_c516d4fbf351e63e3d11866bade46-7d39.html).

**М. Л. Дворецкий,  
С. Ю. Боровльова,  
Е. А. Давыденко,**

Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы,  
г. Николаев, Украина

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ БД НА БАЗЕ ПАРСИНГА SQL-ЗАПРОСА**

*В рамках исследования рассмотрена специфика оперативного учета, связанная с переходом от локальных к распределенным. Данная тенденция обусловлена наличием разных типов учета, наличием географически удаленных АРМ и необходимостью в консолидированном учете. В свете необходимости использования распределенной структуры БД актуальным становится вопрос выбора оптимальной стратегии сохранения для соответствующих фрагментов данных распределенной БД, а также методов и средств их дальнейшей синхронизации в случае их изменения и/или для выполнения дальнейшего их консолидированного анализа подсистемами оперативно-аналитической обработки данных.*

*Исследование ставит целью повышение скорости выполнения локальных SQL-запросов с сохранением значения степени актуальности данных в пределах допустимого значения за счет оптимизации структуры удаленного автоматизированного рабочего места на базе парсинга пользовательских SQL-запросов и кластеризации множества отношений центральной БД.*

*На первом этапе разработана подсистема учета пользовательских запросов с возможностью их дальнейшей классификации в соответствии принадлежности к тому или иному автоматизированному рабочему месту, географического расположения, роли пользователя и других критериев. Классификация, в зависимости от параметра, осуществляется как в автоматическом, так и в ручном режимах. Отдельным этапом является осуществление парсинга текста запросов с целью выявления списка отношений и атрибутов. Задачу парсинга кода SQL-запроса предложено решить с помощью использования проекта с открытым кодом ANTLR.*

*Окончательный анализ, выполняемый на базе полученных данных позволяет получить список БД и отношений, которые должны быть доступными, и ранжировать его по разным критериям. Некоторые отношения требуют особого внимания при принятии решения по их размещению в отдаленной БД. В этом случае должны быть рассмотрены их проекции, используемых в различных запросах, и горизонтальное разбиение отношения через указания диапазона ключей.*

*Ключевые слова:* информационная система; распределенная база данных; распределенная транзакция; консолидированный учет; система управления базами данных; SQL-запрос; автоматизированное рабочее место; парсинг; профайлинг; ANTLR; синхронизация данных; ETL-система.

**M. Dvoretzkiy,  
S. Borovlyova,  
E. Davydenko,**

Petro Mohyla Black Sea National University,  
Mykolayiv, Ukraine

## **DISTRIBUTED DATABASE STRUCTURE DESIGN BASED ON SQL-QUERY PARSING**

*In measures of research, the specificity of operational records associated with the transition from local to distributed database was discussed. This trend is motivated by the presence of different accounting types, by existence of workstations that are geographically remoted and, of course, by the need of consolidating data analysis. In view of distributed database structure usage necessarily is actual question of best data storage strategy for different parts of data in distributed database. In addition, it is important to choose right way and technique of its future synchronizing in case of its changing or may be for making consolidated analysis by on-line analytical processing subsystems.*

*Research aims to improve execution speed of local SQL-queries with keeping value of data relevance in acceptable measures by optimizing the database structure of remote workstation place. It makes possible by users SQL-queries parsing with future clustering and classification of central DB relations set.*

*The first stage is creation of user queries accounting with the possibility of its future classification depending on what workstation place it belongs, where is it placed (geographical location), what user role it belongs, and other criteria's. According to the parameter, classification is been doing automatically as well as manually. Particularly attention is payed to separate stage of queries text parsing which is aided to determine relations and attributes list. SQL-query code parsing task is suggested to solve by using open source project ANTLR.*

*Final analysis that is made based on previously received data allows achieving databases and relations list. This list have to be available on-line and can be ranged by different criteria's. Some relations need of special attention during making a decision of its placing in remote database. In this case relation projections that are used in different queries need to be considered as well as horizontal division based on range of keys.*

**Key words:** *information system; distributed database; distributed transaction; the consolidated accounting; database management system; SQL-query; workstation; parsing; profiling; ANTLR; data synchronization; ETL-system.*

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. Т. Фісун;**  
д. т. н., проф. **І. І. Коваленко.**

© Дворецкий М. Л., Боровльова С. Ю., Давиденко Е. О., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 19.10.16*

**Ляпун Д. А.**,  
бакалавр, студент  
кафедры компьютерных систем,  
dlyapuN@gmail.com  
**Ситников В. С.**,  
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедры  
компьютерных систем,  
Одесский национальный  
политехнический университет,  
г. Одесса, Украина,  
sitnvs@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАТФОРМОЙ НА МОБИЛЬНОМ ОБЪЕКТЕ

*Рассмотрены реализации существующих систем стабилизации платформы на мобильном объекте. Проанализированы их основные характеристики, преимущества и недостатки. Предложена реализация системы стабилизации с использованием нейронных сетей на основе прогнозирования движения.*

*В современном мире большое внимание уделяется различным системам стабилизации. Это может быть стабилизатор для камеры – стедикам, или же система стабилизации подвески для спортивных машин. Применяется технология в различных сферах, начиная от съемки видео, заканчивая полетами квадрокоптера. Основной проблемой рассмотренной в данном исследовании является то, что существующие системы стабилизации движения во времени не обеспечивают высокую точность позиционирования, за те вычислительные ресурсы, которые они потребляют для этого. Актуальность исследования состоит в том что на сегодняшний день устройства стабилизации не рационально используют ресурсы. Предлагается использовать аппроксимацию движения вместо ПИД-регулирования, что позволяет добиться улучшения точности и быстрейшего действия не изменяя потребляемые ресурсы.*

**Ключевые слова:** аппроксимация; pid-регуляторы; определение положения во времени; нейронные сети; прогнозирование; самообучение; стабилизация.

Первым шагом при разработке мобильного объекта является анализ существующих систем стабилизации, их погрешности, а также энергозатрат (затрат, связанных с вычислительными мощностями). Для этого проанализированы общие принципы построения систем стабилизации [1].

Основным принципом работы является считывание показаний с датчиков за каждую временную итерацию. После этого информация считывается микропроцессором, далее анализируется, выполняется корректировка текущего положения отправкой сигналов на моторы или сервоприводы. Итого, общее время срабатывания ( $t$ ) имеет вид:

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = t$$

где  $t_1$  – считывание показаний с датчика,  $t_2$  – обработка данных микропроцессора,  $t_3$  – отправка выходного сигнала,  $t_4$  – реакция исполнительных механизмов

При этом время отклика от датчиков и отправки выходного сигнала в десятки раз превышает скорость обработки данных микропроцессором, то есть время

обработки данных на микропроцессоре на порядки меньше, чем считывание показаний с датчиков и отправка выходного сигнала на управляющие элементы. Поскольку время реакции исполнительных механизмов не затрагивается, и является постоянным, им можно пренебречь. Таким образом, формула, приведенная выше примет вид:

$$t_1 + t_3 = t$$

На основе этого, можно сделать вывод, что основная задержка происходит во время принятия и отправки сигнала управляющим блоком.

Управление компьютерной системой платформой на мобильном объекте осуществляется таким образом:

1. Ручное управление – управляется пилотом-оператором с пульта дистанционного управления.
2. Автоматизированное управление – передача по командной радиолинии типовых задач для исполнительных механизмов. К типичным задачам относятся: сделать правый (левый) поворот на  $N$  градусов, выйти в заданную точку, набрать заданную высоту, вернуть-

ся, осуществить облет объекта (района). В этом случае наблюдение и контроль выполнения производится по данным телеметрической информации.

3. Автоматическое управление – обеспечивает возможность полностью автономного полета по заданной траектории на заданной высоте с заданной скоростью и со стабилизацией углов ориентации.

Рассмотрим два способа стабилизации для компьютерной системы управления платформой на мобиль-

ном объекте, на примере системы стабилизации для квадрокоптера.

1. Одним из способов реализации системы стабилизации является построение контуров управления физическими параметрами, такими, как высота, скорость, тангаж, крен, курс, и другие. Для примера системы стабилизации применим ее на самолете. Схема системы стабилизации приведена на рис. 1.

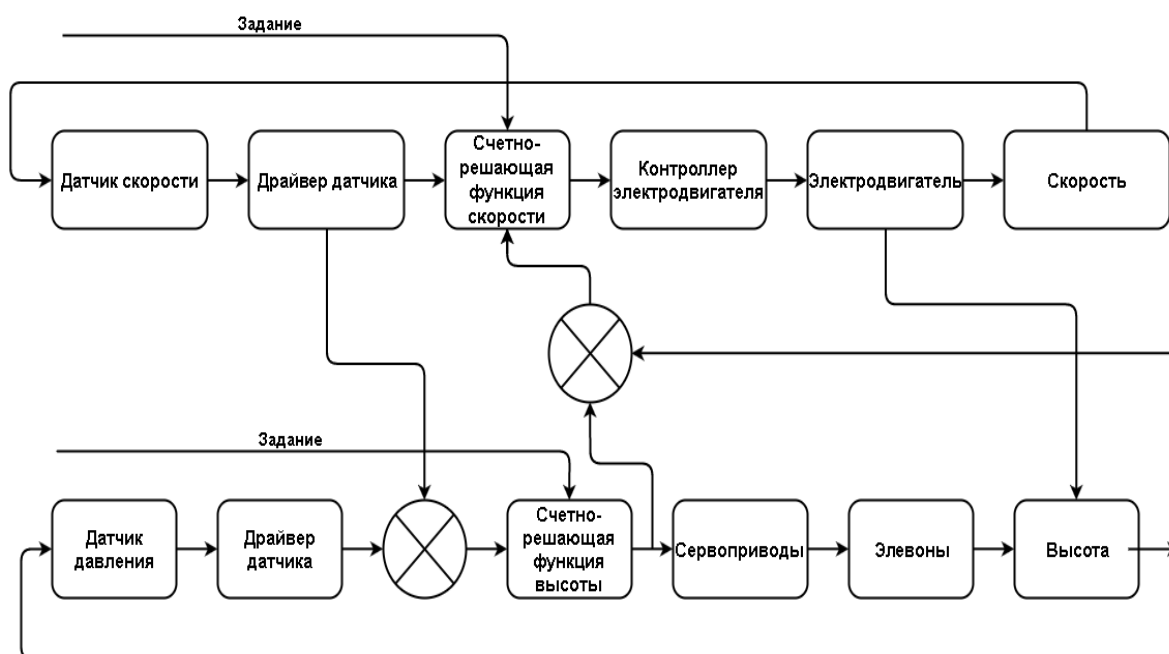


Рис. 1. Структурная схема системы стабилизации мобильной платформы

Данная система стабилизации мобильной платформы нерационально использует выделенные на нее ресурсы, что влияет на скорость работы, время отклика, а также энергопотребление. Кроме того, система, которая построенная на pid-регуляторах является чрезвычайно сложной в реализации и настройке для компьютерных систем, так как, для ее работы необходимо создание отдельных контуров для обеспечения работы всех узлов системы. Сама структура в конечном итоге получается довольно сложной. Следует отметить, что для корректной работы контуров необходимо реализовать работу с использованием параллельных процессов, что не просто, когда в системе используется микроконтроллер (МК). Проблему параллельных процессов в МК можно решить несколькими способами: аппаратными (использовать комбинацию из нескольких МК или использовать ПЛИС) и программными (написать собственную операционную систему (ОС), или использовать готовую ОС).

2. Проблема сложного управления – структурная, что требует специального подхода для ее решения. Задача управления в общем виде сводится в то, чтобы для каждого входного влияния система имела выходное воздействие и двигалась по нужной траектории. Эта задача просто решается, когда входные и выход-

ные воздействия можно представить, как независимые друг от друга функции одной переменной. В данном случае, входное воздействие является вектор переменных значений, равно как и выходное (в каждый дискретный момент времени). Иными словами, выходное воздействие является функцией от нескольких переменных  $F(x_1, x_2, x_3 \dots)$  где  $F$  – вектор  $(y_1, y_2, y_3)$ .

На примере самолета, существует проблема возможных коллизий между управлением тангажом и креном. Предположим, что системе управления необходимо решить, каким параметром управлять в конкретный момент времени. Пусть «1» означает, что система управления будет управлять тангажом, а «0» – креном. Таким образом, все множество решений система управления представляется дискретным множеством из двух элементов  $[1, 0]$ . Однако, в действительности может возникнуть ситуация, когда система управления может понадобиться менять одновременно и крен, и тангаж (например, для выполнения разворота на малой высоте). В таком случае, необходимо некоторое промежуточное значение между 0 и 1. В таком случае, проблему возможных коллизий следует решать с использованием нечеткой логики.

Структурная схема нейронной сети для системы стабилизации мобильной платформы показана на рис. 2.

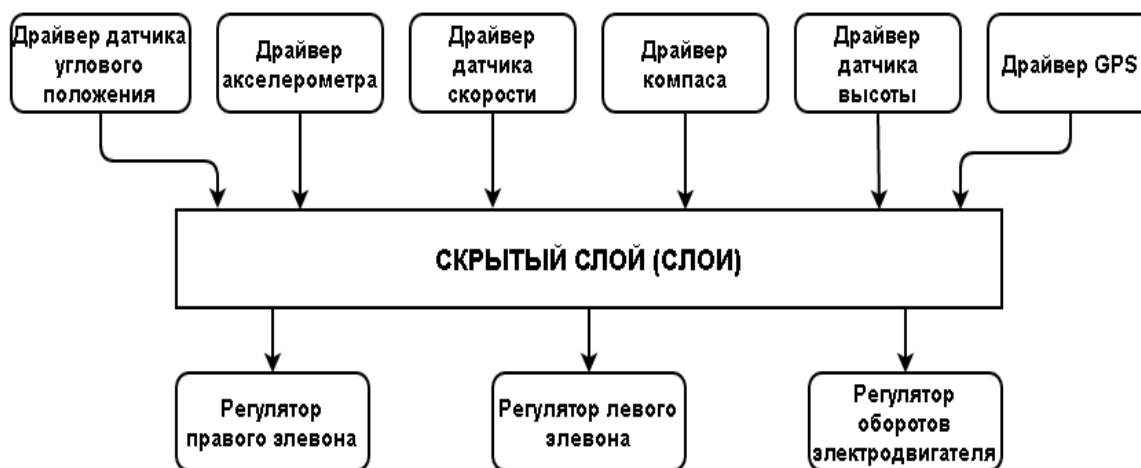


Рис. 2. Структурная схема нейронной сети для системы стабилизации мобильной платформы

Задача построения нейронной сети состоит из нескольких подзадач: выбор базовой структуры, выбор учебных последовательностей, и выбор учебного алгоритма [4].

На блок «Скрытый слой» приходится основная работа – в нём проходит большая часть вычислений и выработка управляющих воздействий. Этот блок представляет собой многослойную нейросеть и выдает управляющие последовательности на регуляторы углового положения каждого злевона, и на регулятор оборотов двигателя, основываясь на информации, полученной с датчиков. В качестве исходного слоя – регуляторы исполнительных механизмов. Между входным и выходным слоем помещается скрытый слой нейронов.

Реализация подобной нейросети требует реализации параллельных процессов на МК[2]. В аппаратной реализации, все регуляторы представляют собой таймеры-счетчики (Т/С) МК, работающих в режиме ШИМ, соответственно в программе реализации – это соответствующие регистры.

В этом случае задача состоит в том, чтобы уменьшить количество итераций считывания датчика, не снижая при этом точность позиционирования. Для этого вводится элемент прогнозирования, который заключается в том, чтобы при нахождении процессором определенной закономерности движения, прогнозировать движение за счет вычисления процессором этой самой закономерности, в обход считывания информации с датчиков[3].

Если объект движется в одном направлении, не меняя свою траекторию, то процессор «понимает» и запоминает эту траекторию движения. После чего процессор принимает только каждый N сигнал с датчиков, благодаря чему осуществляется экономия расходуемой энергии. Поскольку скорость работы МК гораздо выше времени отклика датчиков, следовательно, следует минимизировать количество обращений к датчикам. В общем виде алгоритм приведен на рис. 3.

Ниже на рис. 4 показана структурная схема компьютерной системы управления стабилизацией мобильной платформой.

Алгоритм работы состоит в следующем: запрос на получение данных от датчиков, отправка команд элементам управления, принятие данных, обработка микропроцессором полученной информации, выработка управляющих воздействий на исполнительные механизмы.

Первый и второй пункты достаточно просты и не отличаются от стандартного алгоритма, где происходит сбор сведений о состоянии объекта управления. Собственно, как и четвертый пункт, где происходит отправка обработанных данных к элементам управления, которые изменяют положение объекта управления в пространстве. Элемент прогнозирования вводится в третьем пункте, а именно – для каждого конкретного случая выбирается количество итераций N с помощью самообучающейся нейронной сети[5].





Рис. 3. Алгоритм прогнозирования направления движения



Рис. 4. Структурная схема компьютерной системы управления стабилизацией мобильной платформой

В этом и заключается отличие данного алгоритма, от стандартного. Чем больше динамическое постоянство объекта управления, тем больше возможно количество итераций, без обращения к датчикам, которые

отвечают за положение объекта управления в пространстве. На рис. 5 приведен улучшенный алгоритма прогнозирования.

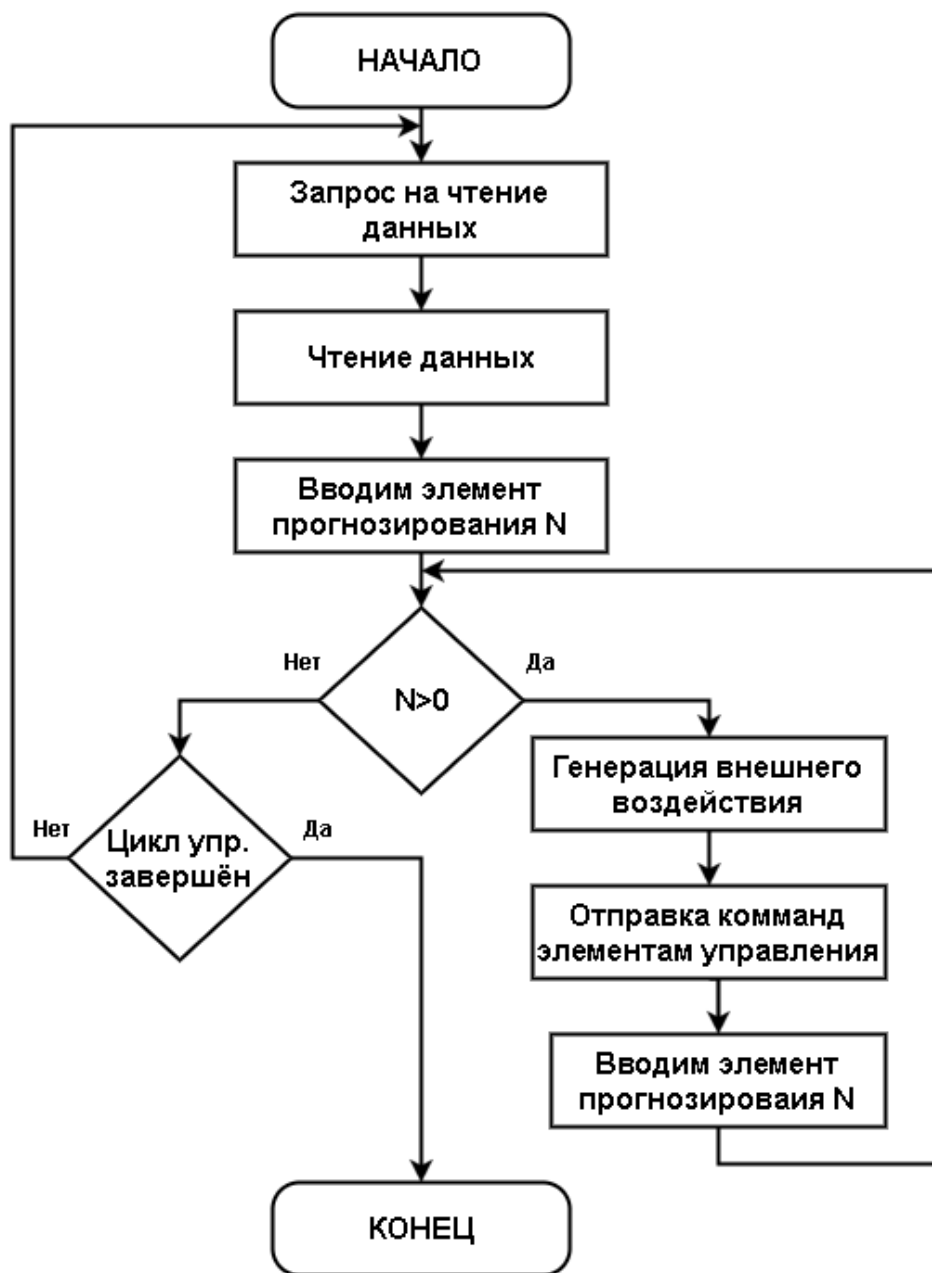


Рис. 5. Улучшенный алгоритм прогнозирования движения

Для исследования быстродействия данного алгоритма, были смоделированы две системы управления, одна система, построенная без элемента прогнозирования, другая с ним. Моделирование осуществлялось с помощью пакета NumPy.

Отметим, что NumPy – это библиотека с открытым исходным кодом для языка программирования Python.

Библиотеку можно рассматривать как свободную альтернативу SciLab. Язык программирования SciLab внешне напоминает NumPy: оба они интерпретируемые и позволяют выполнять операции над массивами (матрицами).

Результаты моделирования системы с прогнозированием показаны на рис. 6.

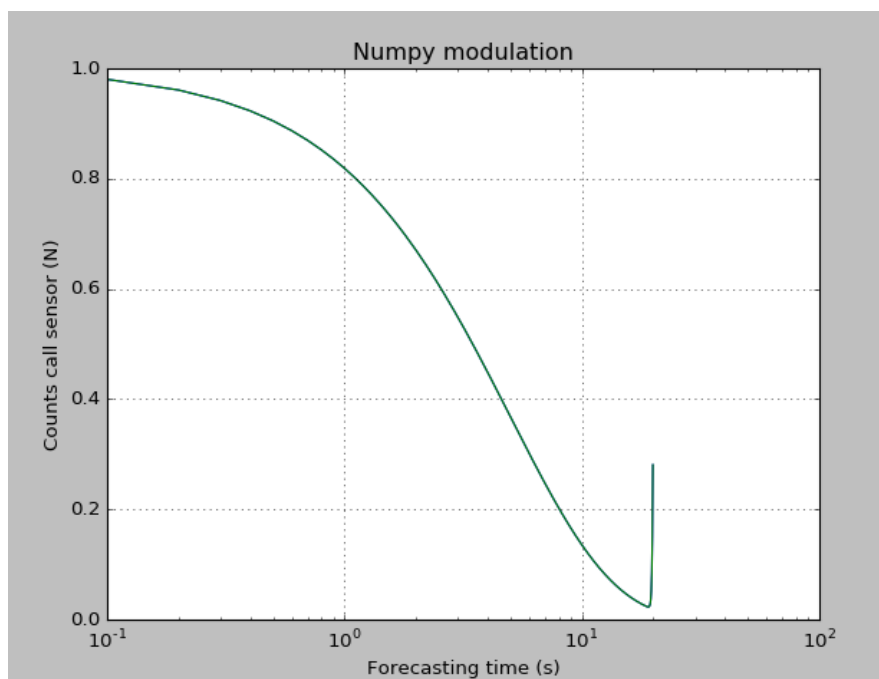


Рис. 6. Результати моделювання системи з прогнозуванням руху

Проведені дослідження показують, що застосування методів прогнозування руху, на основі нейронної мережі збільшує швидкість реакції системи на зовнішні зміни, а також зменшує витрати енергії за рахунок зменшення

кількості звернень до датчиків. Використання подібних систем дозволяє оптимізувати роботу системи для стабілізації платформи та підвищення енергоефективності системи.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Александров С. С., Козлов Е. П., Кузнецов Б. И. Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами. – Харків : НТУ «ХПІ», 2002. – 490 с.
2. Вороновский Г. К., Махотило К. В., Петрашев С. Н., Сергеев С. А. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. – Харьков : Основа. – 1997. – 112 с.
3. Клепиков В. Б., Палис Ф., Цепковский Ю. А. Гибридные нейронные сети в управлении электромеханическими системами // Вестник НТУ «ХПИ». Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика, Харьков. – 2003. – Вып.10. – Т.1. – С. 29–33.
4. Руденко О. Г., Бодянский Е. В. Основы теории искусственных нейронных сетей. – Харьков : ТЕЛТЕХ, 2002. – 317 с.
5. Терехов В. А., Ефимов Д. В., Тюкин И. Ю. Нейросетевые системы управления. – М. : ИПРЖР, 2002. – 480 с.

**Д. О. Ляпун,  
В. С. Ситніков,**

Одеський національний політехнічний університет,  
м. Одеса, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПЛАТФОРМОЮ НА МОБІЛЬНОМУ ОБ'ЄКТІ

У сучасному світі велика увага приділяється різним системам стабілізації. Це може бути стабілізатор для камери – стедикам, або ж система стабілізації підвіски для спортивних машин. Застосовується технологія в різних сферах, починаючи від зйомки відео, закінчуючи польотами квадрокоптера. Основною проблемою розглянутої в даному дослідженні є те, що існуючі системи стабілізації руху в часі не забезпечують високу точність позиціонування, за ті обчислювальні ресурси, які вони споживають для цього. Актуальність дослідження полягає в тому що на

сьогоднішній день пристрої стабілізації не раціонально використовують ресурси. Пропонується використовувати апроксимацію руху замість ПІД-регулювання, що дозволяє домогтися поліпшення точності і швидкодії не зраджуючи споживаним ресурсам.

**Ключові слова:** апроксимація; pid-регулятори; визначення положення в часі; нейронні мережі; прогнозування; самонавчання; стабілізація.

**V. S. Sytnikov,**

**D. A. Lyapun,**

Odessa National Polytechnic University,  
Odessa, Ukraine

## RESEARCH OF COMPUTER CONTROL SYSTEM PLATFORM FOR MOBILE OBJECT

*In today's world, a lot of attention paid to the various systems of stabilization. It can be a stabilizer for cameras – steadycam or suspension stabilization system for sports cars. It is used in various areas of technology, from video shooting, finishing quadrocopter's flights. The main problem considered in this study is that the existing stability control system in time do not provide a high positioning accuracy, for the computing resources they consume this. Relevance of the research lies in the fact that to date, the stabilization device is not efficiently use resources. The hypothesis is that instead of using the approximation of the motion PID can improve the accuracy and speed without changing the resources consumed.*

**Key words:** approximation; pid-controllers; the positioning in time; neural networks; prediction; self-study; stabilization.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. П. Мусянко;**  
к. ф.-м. н., доц. **О. В. Дворник.**

© Ляпун Д. А., Ситников В. С., 2016

Дата надходження статті до редколегії 02.11.16

## МОДЕЛЬ ПІДТРИМАННЯ РІВНОВАГИ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА

*Існуючі методи підтримання рівноваги антропоморфних роботів (АР) складні і потребують потужного обчислювального обладнання робота, займають багато часу та пам'яті. Запропонована модель підтримання рівноваги АР, яка відрізняється простотою та адаптивністю. Модель емпіричним шляхом визначає і коригує параметри підтримання рівноваги, тому може функціонувати в різних умовах переміщення АР.*

**Ключові слова:** антропоморфний робот; гуманоїдний робот; робототехніка; рівновага.

Сьогодні одним з перспективних напрямків робототехніки є розвиток антропоморфних крокуючих роботів. Використання принципу антропоморфності надає характеристикам роботів здатність успішно функціонувати в середовищі, максимально пристосованому для перебування і роботи людини. Ця здатність актуальна в тих випадках, коли роботи діють одночасно з людиною, виконуючи функції асистента, або в період тимчасової відсутності людини [1]. Також в більшості випадків роботу при виконанні реальних задач в умовах нерівної місцевості потрібно долати перешкоди, потрапляти в недоступні, небезпечні місця для людей, зберігаючи при цьому рівновагу.

Антропоморфні роботи максимально універсальні і здатні виконувати потрібні функції при аварійній або іншій позаштатній ситуації. Створення таких пристроїв є одним з перспективних напрямків розвитку робототехніки, однак, існуючі роботи подібні до людини тільки частково, в більшій чи меншій мірі.

Антропоморфні двоногі роботи є складними механічними системами з безліччю взаємопов'язаних активних і пасивних ступенів свободи [2]. Для побудови таких систем використовується велика кількість приводів і різних сенсорів. Організація і оптимізація руху такої системи є досить не простим завданням, пов'язаним з побудовою складної ієрархічної системи управління. Одним з найважливіших завдань в даній області досліджень є побудова системи управління, що забезпечує стабільний

рух робота і підтримку його в стійкому стані в умовах впливів з боку оточуючих факторів.

На сьогодні існує велика кількість досить працездатних моделей підтримання рівноваги робота. Є алгоритми, принцип роботи яких заснований на генерації траєкторій сполучень для забезпечення стабільного тривалого руху [2–4]. Але вони потребують потужного процесора та багато ресурсів, пам'яті, часу.

Для відносно простих роботів використовується алгоритм стабілізації шляхом диференціальної корекції з інтегрованим положеннями двигунів [5]. На початку, коли робот в положенні рівноваги, зберігаються значення акселерометра та положення моторів у змінних. Потім з кожним кроком циклу значення акселерометру зчитуються знову і різниця з оригінальними використовується для обчислення зсуву, що додається до змінних, що зберігають положення моторів, в кожному корекційному кроці, так що поточні положення моторів зберігаються в цих змінних постійно. В кінці кожного кроку циклу програма повинна чекати, бо інакше час між корекційним кроком і наступним обчисленням буде коротким, тому зчитується значення акселерометра кілька разів і обчислюється середнє. У цьому випадку досягається необхідна затримка і відхилення значень акселерометра зменшується. Великим недоліком цього підходу є задане постійне значення рівноваги.

Метою даного дослідження є розробка простої незатратної моделі підтримання рівноваги антропоморфного робота-гуманоїда Robonovavid Hitec

Robotics, на основі існуючого для даного робота підходу з удосконаленням шляхом додавання у модель підтримки рівноваги самостійного визначення інтервалу рівноваги роботом у процесі руху або стояння [5].

Роботова в основному складається з сервомоторів, які імітують людські суглоби та керуються мікроконтролером MR-C3024FX. Середовищем програмування робота є програмний пакет Robobasic, який реалізує рух робота за принципами інверсної кінематики (спочатку визначаються проміжні пози руху, а потім визначається синхронний перехід всіх необхідних для зміни поз сервомоторів).

Для адресації сервомоторів робота використовуються їх групування та нумерація (рис. 1.) Для того, щоб гарантувати, що підшви ніг торкаються землі з їх повної площі в будь-який час, сервомотори 0 і 18 залишаються без дії. Для компенсації рухів назад і вперед робот використовує сервомотори 1 і 19, тобто гомілковостопні суглоби, одночасно. Для компенсації руху убік використовуються сервомотори 4 і 22, стегна. Крім того, права рука опускається шляхом переміщення сервомотору 13 (плече), коли робот згинається вправо, а також ліва рука (сервомотор 7) при нахилі вліво.

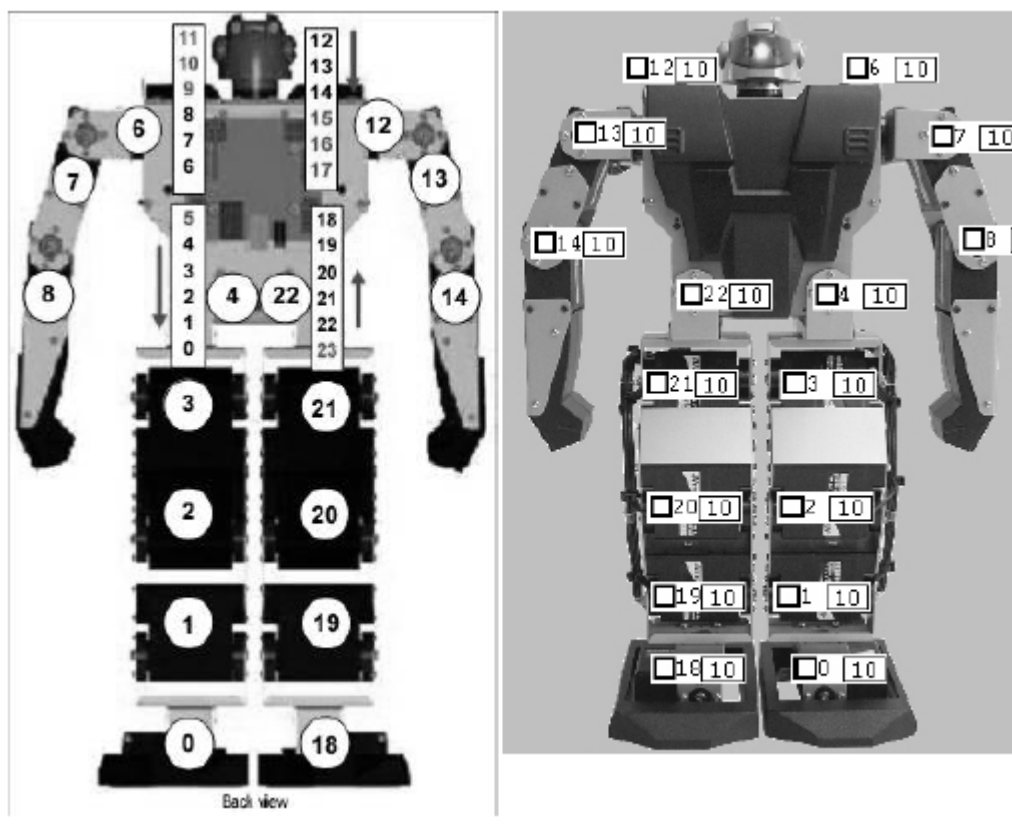


Рис. 1. Робот Robonova і адреса сервомоторів

Алгоритм запропонованого методу підтримки рівноваги виглядає наступним чином (рис. 2–4). На початку руху виконується підпрограма визначення інтервалу рівноваги, в якій на кожному кроці циклу двічі зчитується значення датчика нахилу та

активуються певні сервомотори для падіння робота вперед, щоб визначити *MAX* (максимальне значення інтервалу рівноваги), а потім падіння робота назад – для визначення *MIN* (мінімальне значення інтервалу рівноваги).

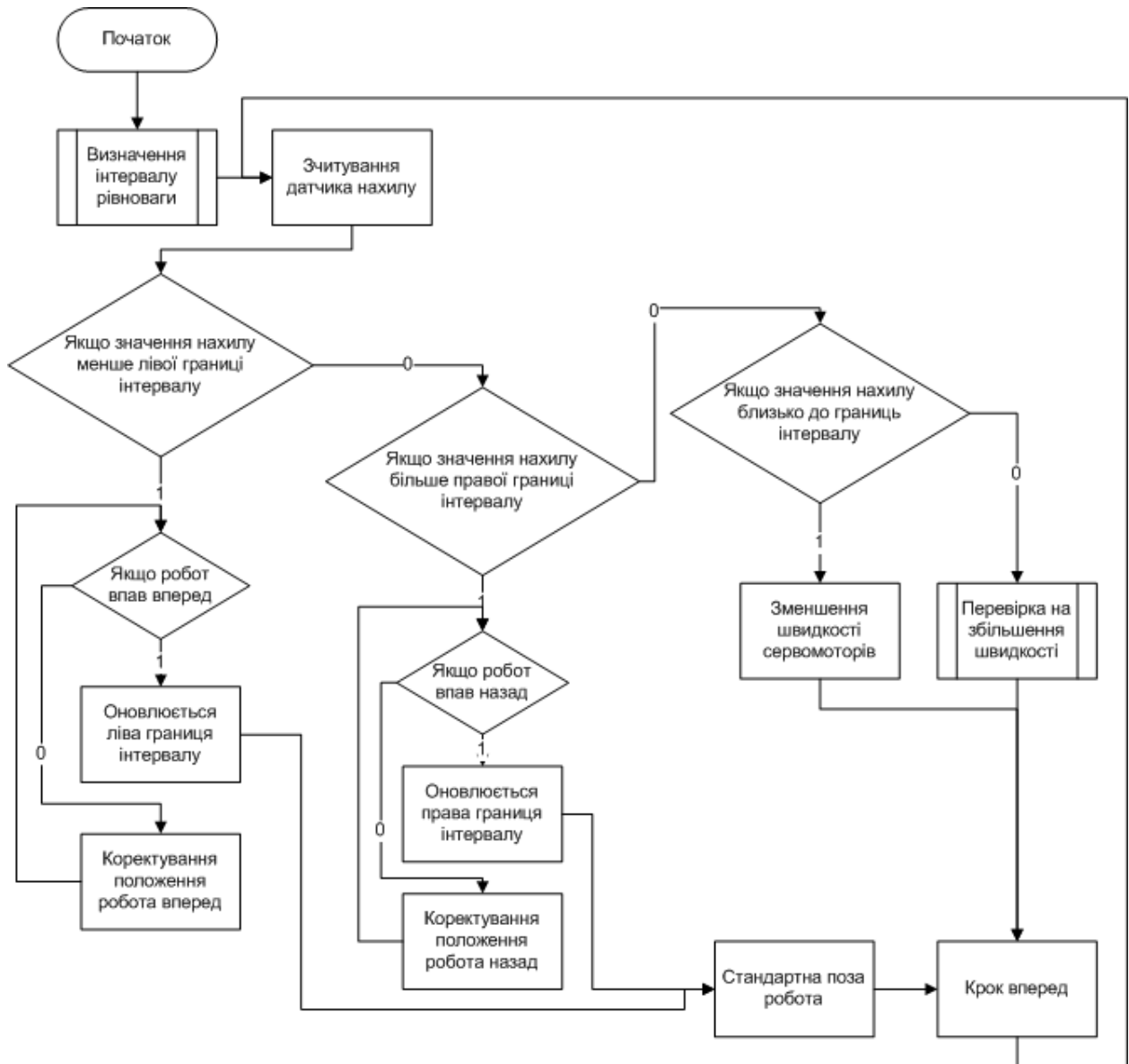


Рис. 2. Блок-схема алгоритму підтримки рівноваги

У подальшому основна частина програми на кожному кроці циклу зчитує двічі значення датчика нахилу і обчислює їх середнє –  $AD$ . Коли  $AD$  знаходиться в інтервалі рівноваги, робот знаходиться в стані рівноваги. Доки  $AD$  менше ніж  $MIN$ , працює підпрограма коректування положення робота вперед, що активує необхідні сервомотори для повернення

робота в стан рівноваги. Доки  $AD$  більше ніж  $MAX$ , працює підпрограма коректування положення робота назад, що активує необхідні сервомотори для повернення робота в стан рівноваги. Якщо в процесі руху робот падає вперед, коректується мінімальне значення інтервалу рівноваги. Якщо назад – максимальне значення інтервалу рівноваги.

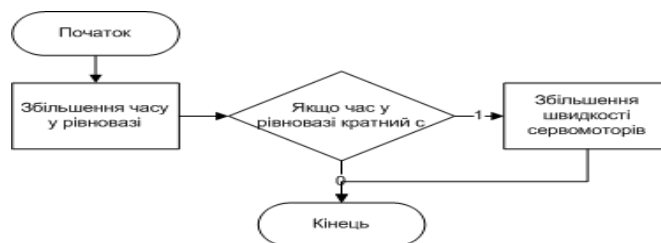


Рис. 3. Блок-схема підпрограми «Перевірка на збільшення швидкості»



Рис. 4. Блок-схема підпрограми «Визначення інтервалу рівноваги»

Коли  $AD$  наближається до границі інтервалу, програма зменшує швидкість сервомоторів. Коли  $AD$  тривалий час, кратний константі  $c$ , яка була визначена експериментально, знаходиться в середині інтервалу, швидкість сервомоторів збільшується.

Отже, розроблений алгоритм відрізняється простою, потребує мінімальної кількості сенсорів та не вимагає великих обчислювальних ресурсів. Він забезпечує в автономному режимі тривалий рух

робота по будь-якій поверхні завдяки самостійному коректуванню параметрів руху, а саме швидкості та значень інтервалу рівноваги. Запропонована модель може бути в подальшому удосконалена додаванням інших параметрів та ускладненням корекції руху, наприклад, зміщенням центру ваги, а також може бути використана для розробки і реалізації самонавчального алгоритму забезпечення рівноваги антропоморфних роботів різної складності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Лопота А. В., Кондратьев А. С., Тимофеев А. Н., Шардыко И. В. Проблемы применения в космосе антропоморфных роботов // ISSN 2305-9001. Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування №2 (68). 2013, С. 195 – 200.
2. А. Сафонов, А. Телеш, А. Мельников, Ф. Палис, Синтез динамической ходьбы антропоморфного робота с использованием предварительной оптимизации траекторий движения. // Электромеханичні і енергозберігаючі системи. Вип. 3(19). – 2012. – С. 462 – 465.
3. Н. Wongsuwarn, D. Laowattana, Neuro-FuzzyAlgorithm for a BipedRoboticSystem inWorld Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering Vol. 2. – No. – 3. – pp. 858 – 864.
4. М. Е. Palmer D. В. Miller, An Evolved Neural Controller for Bipedal Walking with Dynamic Balance in GECCO'09, July 8–12, 2009, MontréalQuébec, Canada. ACM 978-1-60558-505-5/09/07 pp. 2119 – 2124.
5. Н. Burgdörfer, F. Rühle, Project Documentation: Stabilization of Robonova // Universität Heidelberg, 2007.



**О. В. Стрельцов,  
А. И. Ляшенко,**

Одесский национальный политехнический университет,  
г. Одесса, Украина

## **МОДЕЛЬ ПОДДЕРЖАНИЯ РАВНОВЕСИЯ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА**

*Существующие методы поддержания равновесия антропоморфных роботов (АР) сложные и требуют мощного вычислительного оборудования работа, занимают много времени и памяти. Предложенная модель поддержания равновесия АР отличается простотой и адаптивностью. Модель эмпирическим путем определяет и корректирует параметры поддержания равновесия, потому может работать в различных условиях перемещения АР.*

**Ключевые слова:** антропоморфный робот; гуманоидный робот; робототехника; равновесие.

**O. V. Streltsov,  
I. Liashenko,**

Odessa National Polytechnic University,  
Odessa, Ukraine

## **BALANCE MAINTAINING MODEL FOR ANTHROPOMORPHIC ROBOT**

*Existing methods of maintaining the balance of anthropomorphic robots (AR) are complex and require powerful computational robot's equipment, and take a lot of time and memory. The proposed model of maintaining AR balance is simple and adaptable. Model empirically determines and adjusts settings to maintain a balance, so it can work in various conditions of AR motion. This method can be further improved by adding other parameters to the correction model and changing of the correction movement.*

**Key words:** anthropomorphic robot; humanoidrobot; robotics; balance.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. П. Мусянко;**

к. т. н., доц. **І. М. Журавська.**

© Стрельцов О. В., Ляшенко А. І., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 09.11.16*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РОЗВІДКИ, ЗА РАХУНОК ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ ВПІЗНАВАННЯ ЗАСОБІВ ПРОТИДІЇ**

*У статті досліджуються можливості раціоналізації управління засобами захисту та протидії. При рішенні поставленого завдання використовується запропонована ігрова модель функціонування складної системи технічних засобів розвідки в умовах протидії. Ціль роботи підвищення ефективності функціонування технічних засобів розвідки, що дистанційно управляються, за рахунок впровадження інформаційних технологій вибору альтернативних способів управління. В роботі проведено метод підвищення ефективності функціонування технічних засобів розвідки, що дистанційно управляються, за рахунок визначення необхідного часу впізнавання засобів протидії, що дало змогу підвищити ефективність функціонування системи технічних засобів розвідки.*

**Ключові слова:** підвищення ефективності; час впізнавання; засоби захисту; засоби протидії.

**Постановка проблеми.** Дослідження питань по управлінню технічними засобами розвідки (ТЗР) показує, що при високому рівні радіоперешкод, або коли противник веде радіопридушення, управління зовсім пропадає. В зоні проведення бойових дій противник майже завжди сканує радіоефір і в тому числі частоти які використовуються по радіоуправлінню технічними засобами розвідки. Управління технічними засобами повинно бути «гнучким», тобто необхідно добитись щоб ці засоби спрацювали і застосовувались в тих випадках для яких вони призначенні.

На сьогодні актуальним науковим завданням є удосконалення функціонування технічних засобів розвідки, що дистанційно управляються, за рахунок часу застосування та підготовчих операцій та часу впізнавання засобів протидії зі сторони противника.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Для рішення поставленого завдання використовується запропонована ігрова модель функціонування складної системи технічних засобів розвідки в умовах протидії [1, 2, 3]. Попередні дослідження [4] показали, що підвищення ефективності, при функціонуванні системи технічних засобів розвідки залежить від часових характеристик управління засобами захисту й протидії. Наразі відома велика кількість ігрових методів аналізу та оцінки конфлікуючих сторін [5, 6, 7], та методики по розрахунку ефективності складних систем [8, 9, 10] проте існують випадки, коли ці мето-

ди не можуть бути застосовані, тому-що не враховують час впізнавання засобів протидії. Тому постає необхідність розробки методу підвищення ефективності з урахуванням часу впізнавання засобів протидії.

**Окреслення невирішеної часткової задачі загальної проблеми (мета статті).** Система по радіоуправлінню технічними засобами має специфічне призначення, принципи дії й умови застосування, що обумовлює особливості кількісної оцінки її ефективності. При цьому специфічний прямий показник характеризує ефект, отриманий при досягненні мети функціонування, а прагматичний прямий показник визначає ступінь досягнення мети. (середнє число виконаних завдань, ймовірність досягнення мети).

Розглянемо вирішення часткової задачі загальної проблеми підвищення ефективності функціонування технічних засобів розвідки, що дистанційно управляються, за рахунок визначення необхідного часу впізнавання засобів протидії зі сторони противника.

Метою статті є реалізація інформаційних технологій по визначенню необхідного часу впізнавання засобів протидії дало змогу підвищити ефективність функціонування системи ТЗР, що дистанційно управляється в умовах протидії з боку противника.

### **Викладення основного матеріалу.**

В ігровій моделі конфлікуючі системи  $S_1$  і  $S_2$  представляються двома гравцями із протилежними інтересами. 1-й гравець керує засобами захисту та

дистанційно управляє технічними засобами розвідки, 2-й гравець керує засобами протидії та створює перешкоди на частотах де працює 1-й гравець [1, 2].

Для випадку, коли число засобів протидії й відповідно засобів захисту рівно 2, розглянемо методику визначення необхідного часу впізнання  $t_1$  і  $t_2$ . Система  $S_2$  здійснює підслідковування, якщо середня ефективність  $E_{cp} > v$  (ціни гри), і система  $S_1$  застосовує раціональну змішану стратегію  $H^*$ , якщо  $E_{cp} < \min_j \max_i E_{ij}$ , де  $E_{ij}$  ефективність системи  $S_1$  а  $j, i$  номера стратегій. Будемо вважати заданими значення  $E_{ij}$  й час  $T_1$  і  $T_2$  застосування засобів протидії  $y_1$  і  $y_2$ . При цьому технічні характеристики систем  $S_1$  і  $S_2$  не змінюються. Необхідне значення ефективності  $E_n$  може бути задане тільки в діапазоні

$$v < E_n < \min_j \max_i E_{ij}.$$

Розглянемо методику вибору значень  $t_1$  і  $t_2$  у випадку, коли в якості критерію прийнятий час виконання робіт для одержання необхідного часу впізнання. В окремому випадку це може бути час навчання операторів  $t_{on}$ , час налаштування й застосування апаратури, що забезпечує досягнення необхідного часу впізнання.

Для наведеної [4] моделі навчання початковий час впізнання засобів протидії приймемо рівними  $t_{1n}$  і  $t_{2n}$ . Максимальний рівень підготовки операторів визначається мінімально досяжним часом  $t_{1min}$  і  $t_{2min}$ . Швидкості придбання навичок впізнання засобів протидії  $y_1$  і  $y_2$  характеризуються постійним часом  $\tau_1$  і  $\tau_2$  відповідно. З урахуванням введених позначень часу впізнання  $t_1$  і  $t_2$  будуть змінюватися за законами

$$t_1 = t_{1n} - (t_{1n} - t_{1min})(1 - e^{-\frac{t_{on1}}{\tau_1}}) \quad (1)$$

та

$$t_2 = t_{2n} - (t_{2n} - t_{2min})(1 - e^{-\frac{t_{on2}}{\tau_2}}). \quad (2)$$

де

$t_{on1}$  і  $t_{on2}$  – тривалість навчання операторів впізнання засобів протидії  $y_1$  і  $y_2$  відповідно.

Задача полягає в тому, щоб підвищити рівень підготовки операторів від початкового  $B_n$  до необхідного  $B_n$ , при цьому загальний час навчання  $t_{on}$  повинний бути мінімальним.

У наведеному випадку більш зручним є рішення в аналітичному виді. У ході рішення спочатку знаходимо раціональний час навчання  $t_{on1}$  і  $t_{on2}$ , які визначаються по формулах

$$t_{on1} = \tau_1 \ln \left[ \left( 1 + \frac{\tau_2}{\tau_1} \right) \frac{(E_{11} - E_{21})(t_{1n} - t_{1min})}{\Delta B} \right] \quad (3)$$

$$t_{on2} = \tau_2 \ln \left[ \left( 1 + \frac{\tau_1}{\tau_2} \right) \frac{(E_{22} - E_{12})(t_{2n} - t_{2min})}{\Delta B} \right], \quad (4)$$

де  $\Delta B = B_n - B_{min}$ .

Величина  $\Delta B$  характеризує можливості подальшого скорочення часу  $t_1$  і  $t_2$ .

Будь-які інші значення часу  $t_{on1}$  і  $t_{on2}$  викликають збільшення  $t_{об}$ .

Після підстановки отриманих значень  $t_{on1}$  і  $t_{on2}$  в (1) і (2) і відповідних перетворень одержуємо шукані значення часу впізнання

$$t_{1н} = t_{1min} + \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} \cdot \frac{B_n - B_{min}}{E_{11} - E_{21}} \quad (5)$$

та

$$t_{2н} = t_{2min} + \frac{\tau_2}{\tau_1 + \tau_2} \cdot \frac{B_n - B_{min}}{E_{22} - E_{12}} \quad (6)$$

У наведеній методиці вибір часу впізнання технічних характеристик системи  $S_1$  були прийняті незмінними.

Покажемо це на прикладі підвищення середньої ефективності  $E_{cp}$  системи  $S_1$  за рахунок удосконалення одного із засобів захисту. Нехай система  $S_1$  приваблює  $m$  засобами захисту проти  $n$  засобів протидії, має початкову ефективність  $E_{cp} = E_n$ . При застосуванні засобу захисту  $x_i$  проти засобу протидії  $y_i$  початкова ефективність системи рівна  $E_{ii_n}$  і впізнання засобу протидії  $y_i$  здійснюється за час  $t_{ii_n}^y$ . Ефективність  $E_{cp}$  пов'язана з  $E_{ii}$  і  $t_{ii}^y$  функціонально залежністю виду

$$E_{cp} = E_{cp}(E_{ii}, t_{ii}^y). \quad (7)$$

Для рішення поставленої задачі в (7) приймемо

$$E_{cp} = E_n = const \quad (8)$$

та, вирішуючи (7) відносно  $E_{ii}$ , для необхідних значень  $E_{ii_n}$  і  $t_{ii_n}^y$  одержимо функціональну залежність виду

$$E_{ii_n} = E_{ii_n}(t_{ii_n}^y), \quad (9)$$

де

$$E_{ii_n} < E_{ii_n} < E_{ii_{max}} \text{ і } t_{ii_{min}}^y < t_{ii_n}^y < t_{ii_n}^y.$$

Значення  $E_{ii_{max}}$  і  $t_{ii_{min}}^y$  визначаються відповідно з умов

$$E_n = E_n(E_{ii_{max}}, t_{ii_n}^y) \text{ і } E_n = E_n(E_{ii_n}, t_{ii_{min}}^y).$$

Характер залежності (9) наведений на рис.1.

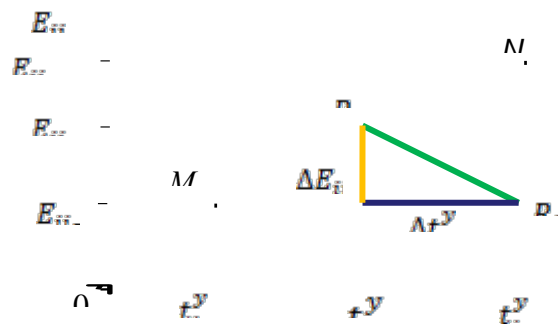


Рис. 1. Залежність середньої ефективності системи ТЗР від часу впізнавання

Враховуючи, що

$$\Delta E_{ii} = E_{ii_n} - E_{ii_m} \text{ і } \Delta t^y = t^y_n - t^y_m, \quad (10)$$

вираження (9) має вид

$$\Delta E_{ii_n} = \Delta E_{ii} (\Delta t^y_n). \quad (11)$$

Значення  $\Delta E_{ii}$  і  $\Delta t^y$  що задовольняють умові (11) забезпечують підвищення ефективності  $E_{ii}$  до рівня  $E_{ii_n}$ .

Реалізація інформаційних технологій по визначенню необхідного часу впізнавання засобів протидії дало змогу підвищити ефективність функціонування системи ТЗР, що дистанційно управляється в умовах протидії з боку противника.

**Висновок.** У системах військового призначення в складній бойовій обстановці прийняття рішення на використання альтернативних засобів захисту здійс-

нюється, як правило, в умовах гострого дефіциту часу, коли інформація про противника не є повною. Обмеженість технічних характеристик і ймовірний характер застосування засобів протидії висуває на передній план часові характеристики управління засобами захисту й протидії.

Реалізація інформаційних технологій по визначенню необхідного часу впізнавання засобів протидії дало змогу підвищити ефективність функціонування системи ТЗР що дистанційно управляється в умовах протидії з боку противника.

**Напрямки подальших досліджень.** Найбільш актуальним для продовження роботи з вказаної проблеми є розробка пристрою для управління технічним засобом, який буде більш оптимальний при експлуатації в сучасних бойових умовах.

## ЛІТЕРАТУРА

- Максименко Ю. А. Вихідні дані методик для визначення структури системи радіоуправління технічними засобами з урахуванням електромагнітної сумісності / Ю. А. Максименко // Сборник научных трудов SWORLD. – Одеса, 2014. – № 4(37). – С. 49–52.
- Максименко Ю. А. Постановка задачи оптимизации модели функционирования сложной системы радиоуправления техническими средствами в условиях противодействия / Ю. А. Максименко // Сборник научных трудов SWORLD. – Одеса: – 2015. – № 1(38). – С. 11–15.
- Максименко Ю. А. Аналіз залежності ефективності складної системи радіоуправління технічними засобами від тимчасових характеристик управління / Ю. А. Максименко // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). – Одеса: – 2015. – Вип. 1(3). – С. 75–80.
- Максименко Ю. А. Аналіз залежності ефективності складної системи радіоуправління технічними засобами від тимчасових характеристик управління / Ю. А. Максименко // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). – Одеса, 2015. – Вип. 1(3). – С. 75–80.
- Льюс Р. Д., Райфа Х. С. Игры и решения: Изд-во «Иностранная литература» / Р. Д. Льюс, Х. С. Райфа // 1981.
- Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Высшая школа, 2000. – 354 с.
- Цегелик Г. Г. Чисельні методи / Г. Г. Цегелик. – Львів: Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2004
- Катренко А. В. Дослідження операцій: підручник МО / А. В. Катренко – Львів: Видавництво «Магнолія», 2009.
- Томашевський В. М. Моделювання систем / В. М. Томашевський. – К.: БІУ, 2005.
- Душин В. К. Теоретические основы информационных процессов и систем: Учебник / В. К. Душин. – Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2003. – 348 с.

Ю. А. Максименко,  
Военная академия,  
г. Одесса, Украина

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РАЗВЕДКИ, КОТОРЫЕ ДИСТАНЦИОННО УПРАВ- ЛЯЮТСЯ, ЗА СЧЕТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕОБХОДИМОГО ВРЕМЕНИ УЗНАВАНИЯ СРЕДСТВ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

*На настоящее время актуальными остаются вопросы дистанционного управления по радио техническими средствами разведки, существуют проблемы естественных помех и проблемы противодействия со стороны противника, который ставит помехи на частотах где работают эти средства. В данной статье исследуются возможности рационализации управления средствами защиты и противодействия. При решении поставленной задачи используется предложенная игровая модель функционирования сложной системы технических средств разведки в условиях противодействия. Цель работы - повышение эффективности функционирования технических средств разведки, которые дистанционно управляются, за счет внедрения информационных технологий выбора альтернативных способов управления. В данной работе проведен метод повышения эффективности функционирования технических средств разведки, которые дистанционно управляются, за счет определения необходимого времени узнавания средств противодействия, которое дало возможность повысить эффективность функционирования системы технических средств разведки.*

**Ключевые слова:** повышение эффективности; время узнавания; средства защиты; средства противодействия.

Y. A. Maksymenko,  
Military Academy,  
Odesa, Ukraine

## IMPROVEMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE PER- FORMANCE OF RECONNAISSANCE EQUIPMENT, WHICH IS PROVIDED WITH REMOTE CONTROL SYSTEM, DUE TO THE CALCULATION OF THE TIME REQUIRED FOR COUNT ACTIVITIES

*The problem of remote control system by the reconnaissance radio technical means is still actual one, there are problems of natural obstacles and problems of contraction from the enemy's side.*

*Present article is about the possibilities of rationalization of defense and contraction management. The proposed simulating model of functioning of complicated reconnaissance system of technical means in the contraction of the tasks. The aim of the work is the increasing of the functional effectiveness of the reconnaissance technical means that are remotely controlled by means of implementation.*

**Key words:** calculation of the time; means of defense; means of contraction.

**Рецензенты:** д. т. н., проф. М. П. Мусієнко;  
к. т. н., доц. І. М. Журавська.

© Максименко Ю. А., 2016

Дата надходження статті до редколегії 17.10.16

**Никольский М. В.,**канд. техн. наук, ассистент,  
markdezert@ukr.net**Бережной К. Ю.,**аспирант кафедры автоматизации силовых  
паровых установок,  
Национальный университет  
«Одесская морская академия»,  
г. Одесса, Украина,  
90demon777@ukr.net

## ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВИСКОЗИМЕТР

Для измерения вязкости тиксотропных жидкостей, к которым относятся тяжелое моторное топливо и масло, находящихся в триботехническом зазоре. Их динамическая вязкость отличается от ньютоновских жидкостей. Основное отличие вискозиметров – подобие процессов в измерительном зонде процессам в топливной аппаратуре: зазор и перемещение во всем диапазоне скоростей. Существующие вискозиметры проводят измерение только при фиксированных значениях скоростей. Использование пьезоэлектрических двигателей, обладающих высоким пусковым моментом по сравнению с электромеханическими при одинаковых габаритных размерах, позволяет плавно изменять диапазон скоростей без использования редукторов.

**Ключевые слова:** пьезоэлектрический вискозиметр; вискозиметр с пьезоэлектрическим приводом; тиксотропная жидкость; линейный пьезоэлектрический двигатель; роторный пьезодвигатель.

Тяжелое топливо и смазочное масло, используемое в судовых дизелях, относятся к тиксотропным жидкостям [1, 2]. Из существующих методов измерения вязкости (падающего шарика, соосных цилиндров, соосных дисков, вибрационный, по перепаду давления в капилляре, ультразвуковые и ротационные) в судовых системах распространение нашли методы по перепаду давления, соосных цилиндров, ультразвуковой.

В [3, 4] исследуются вопросы, связанные с отличием их значений коэффициентов вязкости, полученных разными методами измерения. Установлено, что значения коэффициентов вязкости для узлов, совершающих вращательное движение, и узлов, совершающих линейное перемещение, отличаются.

Отличительной особенностью всех вискозиметров является работа измерительного зонда при

постоянной скорости подвижной части (цилиндра или диска). Однако топливо и масло, используемые при работе главного двигателя, испытывают деформации в широком диапазоне скоростей, и их динамическая вязкость для разных скоростей и градиента сдвиговых деформаций будет отличаться (носит ярко выраженный S-характер), что нашло подтверждение в [5]. Как известно, коэффициент динамической вязкости «ньютоновской» жидкости определяется из следующего соотношения:

$$\eta = \frac{F_{TP}/S}{\Delta V/\Delta h}$$

где  $F_{TP}$  – сила внутреннего трения,  $\square$   $\square$  – градиент скорости,  $S$  – площадь поверхности внутреннего цилиндра,  $\square$  – толщина слоя.

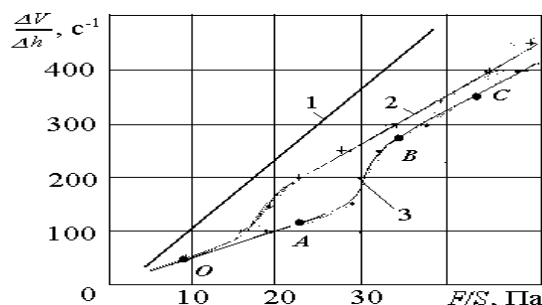


Рис. 1. Коэффициент динамической вязкости: 1 – «ньютоновская» жидкость; 2, 3 – тиксотропные жидкости

В этом соотношении из всех перечисленных коэффициентов постоянными являются  $S$  и  $Q$ .

Преимущества и недостатки вискозиметров и реометров с электромагнитными и электромеханическими приводами рассмотрены в [6].

Целью данной статьи является анализ возможностей, достоинств и недостатков вискозиметров и реометров, использующих пьезоэлементы (ПЭ) либо в виде датчика, либо привода измерительного зонда.

Общеизвестно, что ПЭ обладают прямым и обратным пьезоэффектом. В зависимости от использования

типа эффекта они могут выступать в качестве первичных преобразователей энергии (датчиков) на основе прямого пьезоэффекта либо вторичных преобразователей (обратный пьезоэффект) – актуаторов и двигателей (ПЭД).

На рис. 2 представлены основные конструкции, наиболее часто встречающихся в технике ПЭ: наборной пакет пластин, работающий на продольном пьезоэффекте (рис. 2, а); биморфная, консольно заделанная пластина (рис. 2, б); биморфная мембрана, опирающаяся на края (рис. 2, в) и моноэлемент (рис. 2, г) [7].

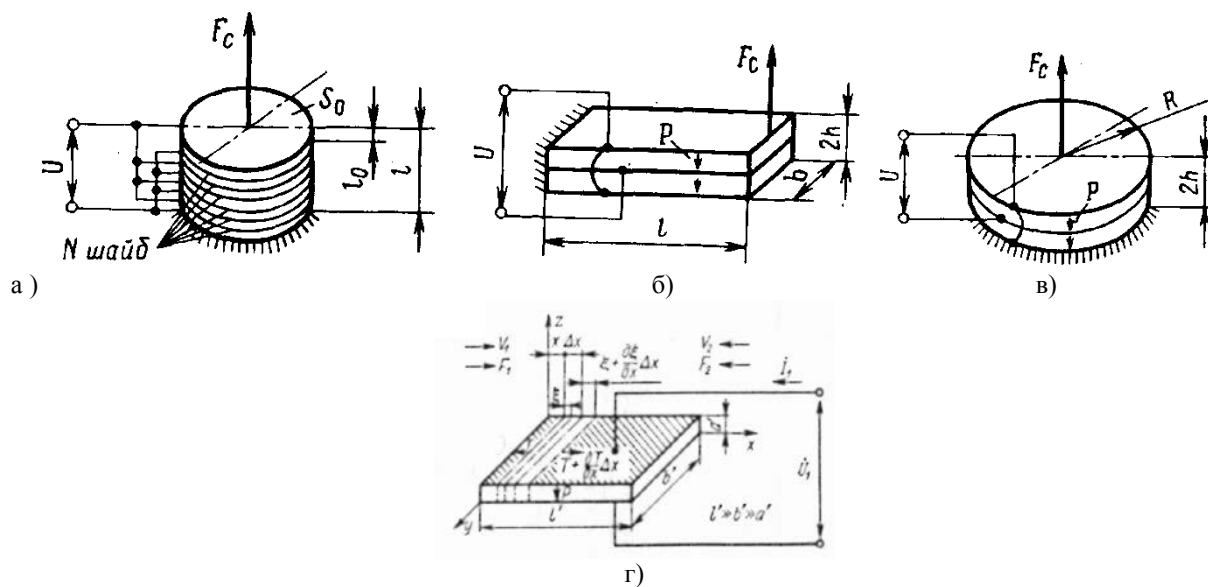


Рис. 2. Конструкции пьезоэлементов

Проведем классификацию вискозиметров на основе ПЭ (рис. 3).

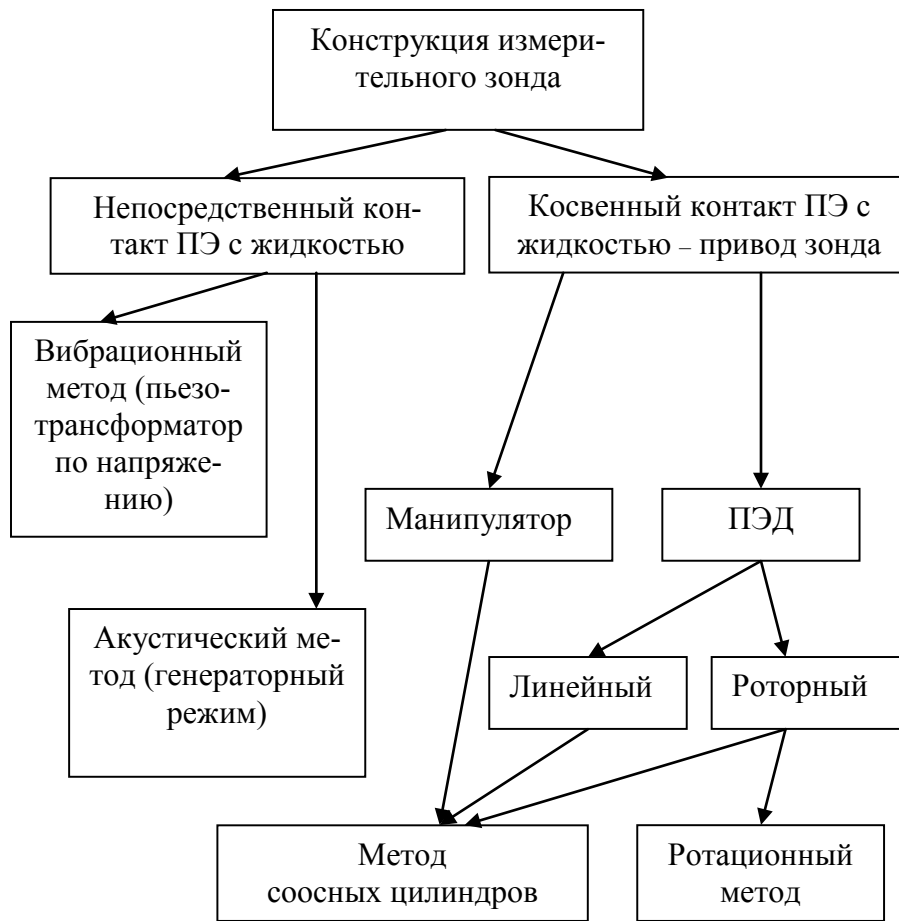


Рис. 3. Классификация вискозиметров, использующих ПЭ

Анализ особенностей работы пьезоэлектрических вискозиметров с непосредственным контактом жидкости и ПЭ при достаточно простой реализации конструкции позволил выявить следующие недостатки:

- при температурах от 45 до 150 градусов происходит значительное изменение характеристик ПЭ, что при длительной эксплуатации приводит к отслаиванию электродов, и, соответственно, к изменению площади ПЭ, что, в свою очередь, изменяет емкость и частоту колебаний ПЭ. А, как известно, ПЭ достигают максимального КПД на частоте резонанса.

- режимы работы ПЭ (скорость колебаний и диапазон перемещений) отличаются от режимов работы элементов топливной аппаратуры;

- генераторный режим работы ПЭ [8, 9] не позволяет использовать его во всем диапазоне линейных скоростей, соответствующих топливной аппаратуре. Частота резонанса ПЭ существенно отличается от частот работы узлов топливной аппаратуры и подшипников трения. Попытка установки ПЭ на вращающийся зонд [10] не позволила реализовать подобие процессам ТА.

Следующая большая группа – вискозиметры с приводом, использующим манипуляторы и двигатели. В этих вискозиметрах удалось реализовать подобие процессов в измерительном зонде аналогичные процессам в топливной аппаратуре. Температурный

режим работы ПЭ находится в допустимых пределах, не выше +60 С.

Однако, для получения перемещений пьезоэлектрическими манипуляторами требуется последовательное механическое соединение ПЭ в наборной пакет, т.к. абсолютное изменение толщины пьезоэлектрической монопластины за счет продольного пьезоэффекта составляет всего 0,05 – 0,3 мкм. В тоже время упругие свойства пьезоманипуляторов в сочетании со слабым внутренним демпфированием приводят к их сильной колебательности в переходных процессах при изменении управляющего поля и механической нагрузки.

Поэтому в [11] был задействован роторный пьезоэлектрический двигатель ДЕП-28 [12] в качестве привода измерительного зонда, который к тому моменту уже имел совершенную конструкцию. В [13, 14] предложены конструкции вискозиметров на соосных цилиндрах с линейными пьезодвигателями (ЛПД). Однако в тот период линейные двигатели по цене и ресурсу уступали роторным двигателям. В тоже время в [5] было высказано предположение, что при определенном уровне развития линейных пьезоэлектрических двигателей, возможно создание вискозиметров с соосными цилиндрами по приемлемой цене и с достаточным сроком эксплуатации.

Последние достижения лаборатории под руководством С. Ф. Петренко по созданию ЛПД открыли широкие возможности в этом направлении. Была



разработана универсальная конструкция ПЭ [16], которая позволила применить его как в ЛПД LPM-5-SP, так и в роторных двигателях РМ – 1124R.

Сравнение характеристик можно провести по таблице 1.

*Таблица 1*

**Характеристики пьезодвигателей**

<b>ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>	<b>ЛПД</b>	<b>Роторный ПЭД</b>
Диапазон перемещения	20 mm	
Максимальное усилие/момент	1,2 N	20mNxm
Максимальная скорость	0,2 m/s	120rpm
Минимальный шаг	0,04 μm	5 arc.sec
Длительность строба минимального шага, μs	30	30
Частота следования шагов (приемистость), kHz	149,7	149,7
Напряжение питания, V	12	12
Максимальный ток (при максимальной скорости), mA	400	240
Вес двигателя, g	35	50
Размер, mm	59x47x10	57x40x16

Нами предлагается использование вышеперечисленных двигателей при построении вискозиметров ротационных и на соосных цилиндрах. В качестве измерительного зонда будет использован распылитель топливной форсунки для обеспечения подвоя процессов в измерительном зонде процессам в топливной аппаратуре.

Однако в отличие от ПЭД предыдущего поколения, где использовался амплитудный метод управления, данные двигатели для обеспечения заданного диапазона скоростей и частот вращения используют широтно-импульсное управление [12], что потребует разработки алгоритма управления и использования промышленных контроллеров, работающих в «жестком» реальном времени.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Овчинников П. Ф. Виброреология / К. : Наук. думка, 1983. – 272 с.
2. Алтоиз Б. А., Поповский Ю. М. Физика приповерхностных слоев. – Одесса : Астропринт, 1995. – 153 с.
3. Алтоиз Б. А., Ханмамедов С. А. Трибологические особенности граничных смазочных слоев судовых топлив и масел // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. – 2003. – Вып. 9. – Одесса : ОНМА. – С. 80–86.
4. Никольский В. В., Багдасарян Л. Б. Определение реологических характеристик топлив и масел, используемых в СЭУ // Судовые энергетические установки: научн.-техн. сб. – Одесса: ОНМА, 2005. – Вып. 14. – С. 31–35.
5. Никольский В. В. Оценка реологических свойств тиксотропных жидкостей реометрами с пьезоприводом / В. В. Никольский // Автоматизация судовых технических средств: науч. – техн. сб. – Одесса : ОНМА, 2005. – Вып. 10. – С. 61 – 64.
6. Никольский В. В., Ханмамедов С. А., Ядрова М. В. Пьезоэлектрический привод вискозиметра // Автоматизация судовых технических средств: науч. – техн. сб. – Одесса : ОНМА, 2003. – Вып. 8. – С. 64–71.
7. Никольский А. А. Точные двухканальные следящие электроприводы с пьезокомпенсаторами. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 160 с.
8. Измерительные преобразователи: Учебное пособие / Р. Г. Джагулов, Е. Б. Плавинский, В. В. Никольский, А. М. Веретенник. – Одесса : Астропринт, 2002. – 216 с.
9. Плавинский Е. Б., Никольский В. В., Цубенко А. С. Пьезоэлектрический вискозиметр // Судовые энергетические установки: науч. техн. сб. – Одесса : ОНМА, 2003. – Вып. 8. – С. 130–132.
10. Революция в измерении вязкости от VAF Instruments // Судоходство. – Одесса, 2000. – № 1–2. – С. 66 – 67.
11. Никольский В. В. Декларационный патент на корисну модель України, МКІ 7 G01N11/10 Вискозиметр. – №u200500629; Заявл. 24.01.2005; Опубл. 15.07.2005, Бюл. №7.
12. Петренко С. Ф. Пьезоэлектрический двигатель в приборостроении. – К. : «Корнійчук», 2002. – 96 с.
13. Никольский В. В. Декларационный патент України, МКІ 7 G01N11/10 Вискозиметр. – № 2003054350; Заявл. 15.05.2003; Опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1.
14. Никольский В. В. Декларационный патент України, МКІ 7 G01N11/10 Вискозиметр. – № 20031211819; Заявл. 18.12.2003; Опубл. 15.11.2004, Бюл. № 11.
15. Лавриненко В. В., Коваль В. С., Петренко С. Ф., Лукін В. В., Франченко Р. В. Патент на винахід №76759 України, МПК(2006) H02N 2/00 П'єзоелектричний двигун. – № 20040110441; Заявл. 18.12.2003; Опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9.

**М. В. Нікольський,  
К. Ю. Бережний,**  
Національний університет  
«Одеська морська академія»,  
м. Одеса, Україна

## П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИЙ ВІСКОЗИМЕТР

*Для вимірювання в'язкості тиксотропних рідин, до яких відносяться важке моторне паливо і масло, які перебувають у триботехнічному зазорі. Їх динамічна в'язкість відрізняється від ньютонівських рідин. Основна відмінність віскозиметрів - подоба процесів в вимірювальному зонді процесам в паливній апаратурі: зазор і переміщення у всьому діапазоні швидкостей. Існуючі віскозиметри проводять вимір тільки при фіксованих значеннях швидкостей. Використання п'єзоелектричних двигунів, що володіють високим пусковим моментом в порівнянні з електро-механічними при однакових габаритних розмірах, дозволяє плавно змінювати діапазон швидкостей без використання редукторів.*

**Ключові слова:** п'єзоелектричний віскозиметр; віскозиметр з п'єзоелектричним приводом; тиксотропна рідина; лінійний п'єзоелектричний двигун; роторний п'єзодвигун.

**M. V. Nikol'skiy,  
K. I. Berezhnyi,**  
National University  
«Odessa Maritime Academy»,  
Odessa, Ukraine

## PIEZOELECTRIC VISCOMETER

*To measure the viscosity of thixotropic fluids in tribotechnical clearance: heavy motor fuel and oil. Their dynamic viscosity differs from the Newtonian liquids. The main difference between viscometers – like processes in the measuring probe processes in fuel equipment: clearance and movement throughout the speed range. Existing viscometers, perform measurements only at fixed speeds. Use piezoelectricity motors with high starting torque compared to Electromechanical in the same footprint, allows you to smoothly change the speed range without the use of reducers.*

**Key words:** piezoelectric viscometer; a viscometer with a piezoelectric actuator; a thixotropic fluid; a linear piezoelectric motor; rotary piezo motors.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. П. Мусяченко;**  
к. ф.-м. н., доц. **О. В. Дворник.**

© Нікольський М. В., Бережної К. Ю., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 09.11.16*

## ПОБУДОВА НА НЕЧІТКІЙ ЛОГІЦІ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ, ЩО МАЄ ОБМЕЖЕНІ ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ Й ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ

*У роботі розглянута побудова комп'ютерної системи автоматичного управління об'єктом, що має обмеженні обчислювальні і енергетичні ресурси на нечіткій логіці, стійкої до непередбачуваних коливань або інших впливів і завад зовнішнього середовища. Досліджено такі питання, як обчислювальна складність нечіткого регулятора та витрати енергії в режимі впливу на систему непередбачуваних змін навколишнього середовища. Запропоновано побудова системи автоматичного управління, що працює під впливом непередбачуваних зовнішніх коливань.*

**Ключові слова:** комп'ютерна система; система управління; нечітка логіка; непередбачувані коливання на вході системи; кореляційний аналіз.

На сьогодні комп'ютерні системи автоматичного управління отримали широке застосування у автономних рухомих мобільних платформах, зокрема БПЛА. Такі платформи під час експлуатації можуть зіткнутися з таким явищем, як турбулентність, що в загальному вигляді можна трактувати як вплив на об'єкт управління непередбачуваних коливань [1], отже постає наступна задача: існує об'єкт управління з обмеженими енергетичними і обчислювальними ресурсами, яким є автономна мобільна платформа, необхідно побудувати систему автоматичного управління цією платформою, стійкою до впливу непередбачуваних коливань.

Нині для виконання поставленої задачі використовують гібридні нейромережі і нечіткі регулятори [2], які оптимізують за такими параметрами, як швидкість регулювання, величина перерегулювання та інші, з використанням таких методів, як генетичні алгоритми [3], чи прогнозуючі нейромережі [4]. Використання генетичних алгоритмів дозволяє за допомогою налаштувань функцій приналежності оптимізувати управління за такими критеріями як швидкість регулювання, величина перерегулювання, кількість коливань в період коливання і т.д. Використання прогнозуючої нейромережі дозволяє покращити якість регулювання за умови появи дії на об'єкт управління неконтрольованих і глибоких коливань [4]. Для зменшення витраченої потужності живлення, і енергетичних витрат системи на сьогоднішній день розроблено метод побудови регулятора з базою правил, яка динамічно формується [5]. Суть такого підходу полягає в декомпо-

зиції регулятора на кілька підрегуляторів, і збереженні цих підрегуляторів в пам'яті таким чином, що певна відповідь одного з підрегуляторів може вимкнутися, або увімкнутися один чи декілька інших підрегуляторів. Тому мало розглянутими питаннями залишаються:

6. Обчислювальна складність нечіткого регулятора.

7. Витрати енергії в режимі впливу на систему непередбачуваних змін навколишнього середовища, вплив обчислювальної складності на витрати енергії

Нехай необхідно побудувати регулятор, що реалізує залежність вхідних і вихідних значень у вигляді

$$Y = f(X)$$

де  $Y$  – вектор вихідних значень регулятора, а  $X$  – вектор значень, що подаються на його вхід. Необхідно знайти такий набір нечітких правил, який апроксимує цю залежність з деякою похибкою  $\xi$ , виконуючи при цьому як найменшу кількість обчислень, і витрачаючи як найменшу кількість енергії.

Для спрощення будемо вважати, що вектори  $X$ ,  $Y$  складаються з одного компонента  $x$  та  $y$  відповідно. Нехай побудовано таку систему управління, що для неї виконується (1). З плином часу значення векторів  $X$ ,  $Y$  будуть змінюватися відповідно:

$$X = X_i + X \quad (2)$$

$$Y = Y_i + Y.$$

$$\text{Або в більш строгому вигляді: } X = X_i + X + \Theta \quad (3)$$

$$Y = Y_i + Y,$$

де  $\Theta$  – завада зовнішнього середовища.

У випадках, коли  $\Theta$  - незначна, або незмінна з часом, вираз (2) достатньо точно описує процес управ-

лінійна існує залежність між  $X$  та  $Y$ . У випадках, коли  $\Theta$  змінюється з часом, при чому так, що виміряне в кожний момент  $t_0$  часу  $\Theta \approx X$ , або  $\Delta\Theta_0 > X$ , де  $X$  – приріст вектору  $X$  в момент  $t_0$ , справедливим буде тільки вираз (3), що означає наявність кореляційного зв'язку між векторами  $X$  та  $Y$  [6].

Реалізація (1) за допомогою нечіткого регулятора заключається в побудові термів, функцій їх приналежності для вхідного вектору  $X$ , вихідного вектору  $Y$ , і нечітких правил що їх пов'язують[7]. Після побудови нечіткого регулятора, для вектору  $Y$  отримаємо набір функцій:

$$\begin{aligned} \wedge Y = f_1(X), X \in [0, X_1), \wedge Y = f_2(X), X \in [X_1, X_2), \\ \dots \wedge Y = f_n(X), X \in [X_{n-1}, | \cdot |], \text{ що апроксимує (1) з по-} \\ \text{хибкою } |Y - Y| < \xi, \text{ де } \{f_1(X), \dots, f_n(X)\}, \text{ - функції, що Замі-} \\ \text{нивши деякі з цих функцій власним значенням } Y \\ \text{отримаємо вираз вигляду } \wedge Y = f_1(X), X \in [0, X_1), \wedge \\ Y = Y, X \in [X_1, X_2), \wedge Y = f_3(X), X \in [X_2, X_3), \dots (6) \wedge \\ Y = Y, X \in [X_{j-1}, X_j), \dots \wedge Y = f_n(X), X \in [X_{n-1}, X_n], \end{aligned}$$

У наведеному прикладі обчислення необхідні для вироблення відповіді нечіткого регулятора можуть не проводитися для  $X \in [X_{j-1}, X_j)$ ,  $X \in [X_1, X_2)$ , і  $\wedge$  інших проміжках, для яких  $Y = Y$ , і вся система загалом може не реагувати на  $X$  в таких проміжках. Нехай існує дискретна система управління, причому весь процес управління триватиме деяке заздалегідь визначене  $q$  число відліків часу. У випадку непередбачуваного характеру зміни  $X$  будуть справедливими наступні твердження.

1. Об'єкт управління має певні енергетичні обмеження, на реакцію системи управління, що являє собою вектор  $Y$ , при чому здатний відреагувати на  $m, m < q$  таких  $Y$ .

2. Для кожного відліку  $q_i$  існує вірогідність  $P_1 > 0$  того, що  $X$  попаде в такий проміжок, що  $Y = f_k(X)$ , і вірогідність  $P_2 = 1 - P_1$ , що  $Y = Y$ .

3. Для кожного відліку  $q_{i0}$  в якому  $Y = Y$ , існує вірогідність  $P_3$ , що в наступному відліку  $q_{(i+1)0}$  буде виконуватися  $Y = f_k(X)$ .

4. Кількість відповідей системи управління, а отже і кількість  $m_0$  реакцій об'єкта управління буде близьким до  $q * P_1$ , відповідно до закону великих чисел.

5. Загальна кількість обчислень  $\gamma$  прямопропорційно залежить від  $P_1$ .

6. Сума всіх значень перерегулювання  $d_\Sigma$  і сума всього часу системи  $t_{\text{пер}\Sigma}$  прямопропорційно залежать  $P_3$  від  $m_0, P_2$ , регулювання.

Отже, описану задачу можна звести до задачі пошуку таких  $f_n(X)$ , заміна яких на  $Y$  дозволить за умови непередбачуваної зміни  $X$  побудувати таку систему Управління, в якій  $m_0$  близький, дорівнює, або більше ніж  $q$ , при чому  $d_\Sigma, t_{\text{пер}\Sigma}$  для неї якнайменші.

У роботі запропоновано побудова такої системи управління на основі кореляційного аналізу зв'язку між вхідними і вихідними векторами регулятора, а саме наступні кроки:

- 1) Представити процес управління двома функціями  $X = f(t), Y = f(t)$
- 2) Розбити функції на проміжки  $f(t), t \in [t, t_0], t \in [t_0, t_1] \dots t \in [t(n-1), tn]$ , які можна вважати лінійними.
- 3) Знайти коефіцієнти кореляції на відповідних проміжках.
- 4) Знайти відповідні проміжкам нечіткі правила.
- 5) Бінарним пошуком на просторі можливих для даної системи коефіцієнтів кореляції знайти таке мінімальне значення кореляції, при якому використання тільки правил, яким відповідні коефіцієнти кореляції більше або рівні заданому дозволить системі функціонувати в умовах стохастичної зміни вхідних параметрів з певним визначеним програшем в перерегулюванні і часі регулювання відносно до початкової системи.

Фактично, такий метод є різновидом методу побудови регулятора з динамічно формуємою базою правил, що має наступні відмінності описаного в [5]:

- Правила виключаються з регулятора на основі кореляційного аналізу зв'язку вхідних і вихідних векторів регулятора, на відміну від структурного аналізу запропонованого в [5].

- Запропонований метод вузько спеціалізований на роботу в умовах дії на об'єкт управління непередбачуваних коливань.

Для дослідження запропонованого методу в програмі Scilab створена модель зображена на рисунку 1.

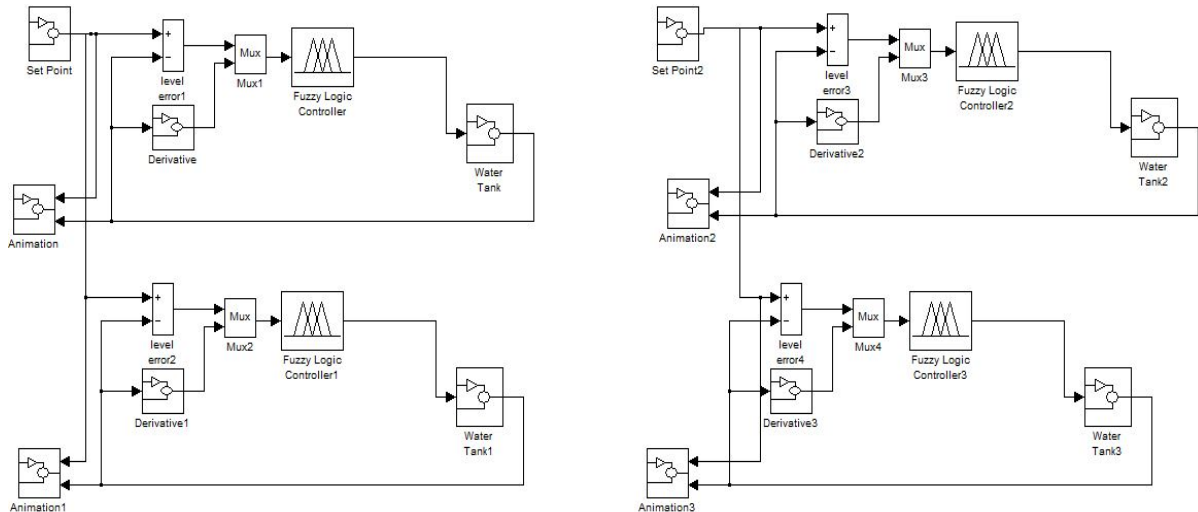


Рис. 1. Структура моделі системи управління

Модель складається з об'єкта управління з одним входом і одним виходом, для керування якою в моделі включено нечіткий регулятор, що реалізує ПД закон управління, за допомогою наступних чотирьох нечітких правил:

*if (level is low) then (valve is open\_fast) if (level is high) then (valve is close\_fast)*

*if (level is good ) and (change is rising) then (valve is close\_slow) if (level is good ) and (change is falling) then (valve is open\_slow)*

В якості джерела вхідних значень, що симулює зміну завдання управління в штатному режимі роботи обрано генератор прямокутних імпульсів. В якості джерела хаотичних вхідних значень, що симулюють хаотичні коливання обрано генератор випадкових імпульсів, налаштований на генерацію випадкових значень розподілених по закону Гауса. З рисунку 2 видно, що при відсутності хаотичних коливань на вході моделі, керування забезпечується з практично відсутнім перерегулюванням.

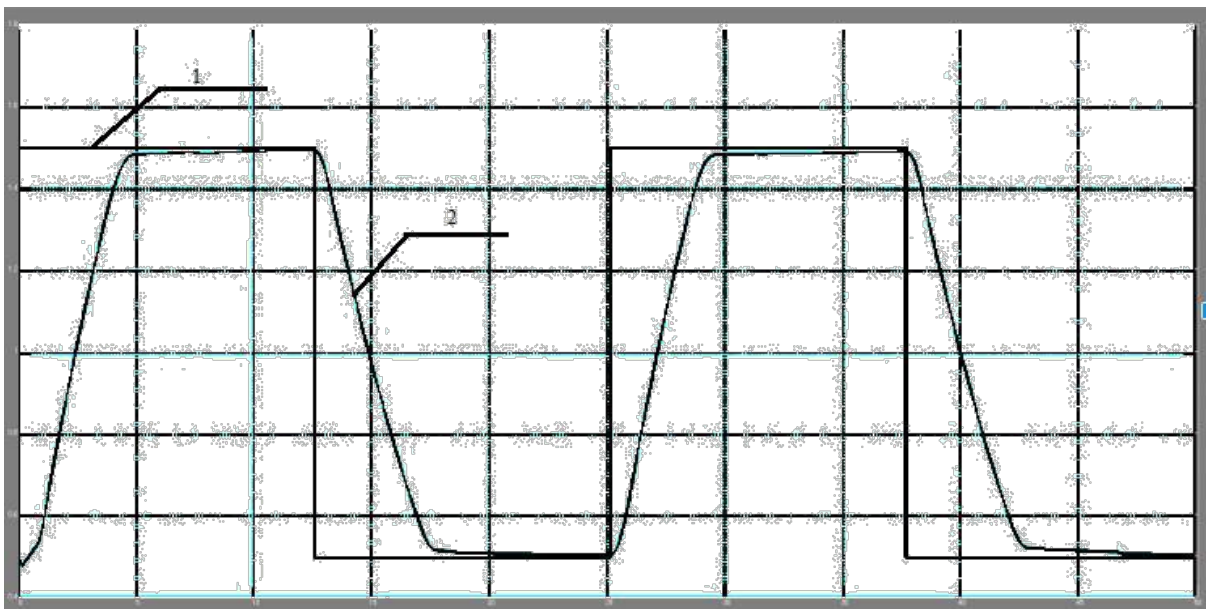


Рис. 2. Графік реакції на зміну завдання системи з чотирма правилами за відсутності хаотичних коливань на вході САУ. 1 – вхід регулятора 2 – вихід регулятора

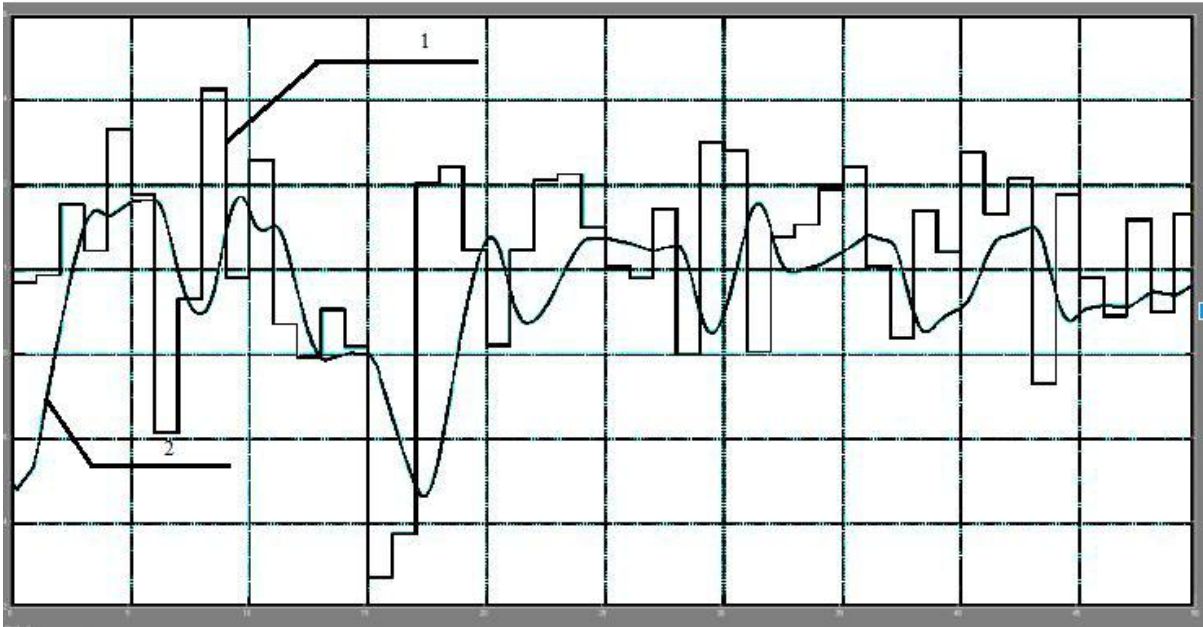


Рис. 3. Робота системи з чотирма правилами за наявності хаотичних коливань на вході системи. 1 – вхід регулятора, 2 – вихід регулятора.

Як бачимо з рисунку 3, при наявності хаотичних і непередбачуваних коливань, на вході системи, спроектована система управління більше не здатна адекватно керувати об'єктом. Провівши вище наведений аналіз бази правил, було виключено з системи наступні правила, і отримано нову базу правил:

*if (level is low) then (valve is open\_fast)*

*if (level is high) then (valve is close\_fast)*

На рисунку 4 зображено моделювання модифікованої системи в стабільному режимі.

Якість керування помітно погіршилася через появу слабозгасаючих коливань. У випадку хаотичної зміни вхідних параметрів, як видно з рисунку 5, система керування також не в змозі адекватно об'єктом.

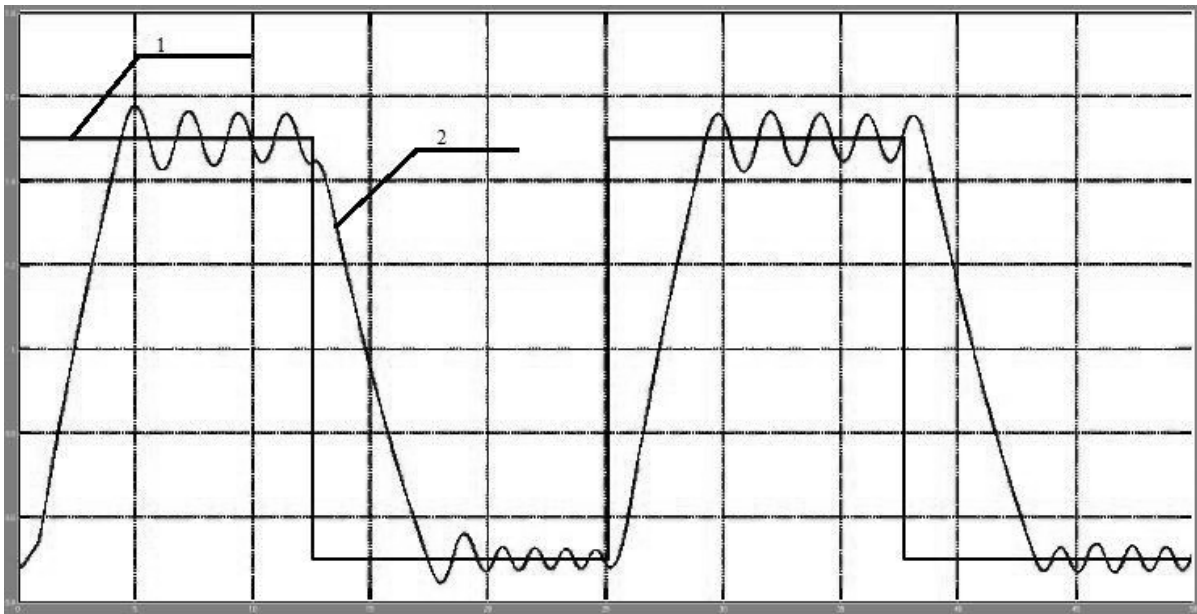
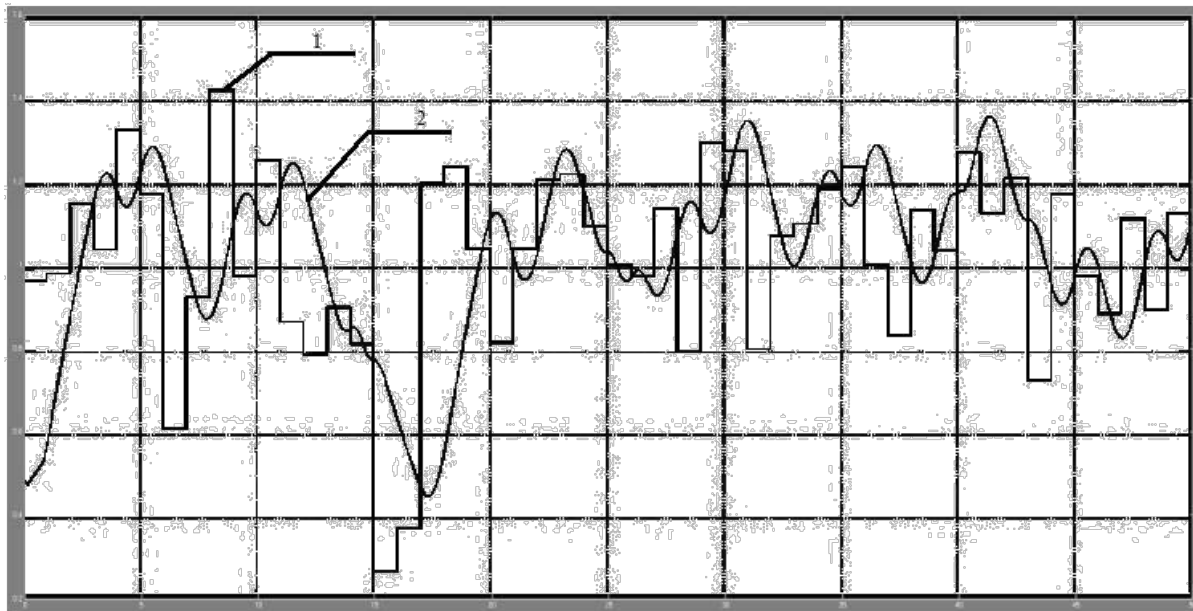


Рис. 4. Робота системи з двома правилами за умови відсутності непередбачуваних коливань на вході. 1 – вхід регулятора, 2 – вихід регулятора.



**Рис. 5.** Робота системи з двома правилами за наявності непередбачуваних коливань на вході.  
1 – вхід регулятора, 2 – вихід регулятора.

Порівнюючи рисунки 5 і 3, можна помітити наступні відмінності:

- Амплітуда коливань системи, що керується регулятором з меншим числом правил дещо більша, ніж системи, що керується повним набором

- Не дивлячись на різницю в амплітудах, помітної різниці в якості керування не спостерігається, за рахунок того, що на тих же самих наборах входних параметрів на деяких ділянках менша помилка у системі з повним набором правил, а на деяких – менша помилка у системі зі зменшеною базою правил.

Таким чином даний метод дозволяє зменшити обчислювальну складність нечіткого регулятора за умо-

ви дії на систему непередбачуваних коливань, без помітних втрат в якості керування, що дозволяє вивільнити обчислювальні ресурси на інші задачі.

З іншого боку, збільшення амплітуди коливань означає більшу витрату енергетичних та інших ресурсів системи, а отже, задачу можна вважати вирішеною лише частково. Причинами цього є те, що при застосуванні досліджуваного підходу з початкової системи були виключені правила, що реалізують диференціальну складову регулятора. Також варто зазначити, що в даному випадку простір для використання досліджуваного підходу обмежений лише чотирма правилами, оскільки початкова система складалася лише з них.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Хинце И. О. Турбулентность: ее механизм и теория / И. О. Хинце. – М. : Физматгиз, 1963. – 680 с.
2. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М. : Горячая линия. – Телеком, 2001. – 382 с.: ил.
3. Мунасыпов Р. А., Ахмеров К. А., Ахмеров К. А. Методика оптимизации нечеткого регулятора с помощью генетических алгоритмов. *Фундаментальные исследования*. – 2015. – №2.
4. Михайленко В. С, Харченко Р. Ю. Синтез адаптивного нечіткого регулятора з прогнозувальною нейронечіткою мережею. *Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки»*, 2012. – №3.
5. Dynamic rule based approach to reduce power consumption of the fuzzy logic controller for embedded applications m. D. Baldania., D. A. Sawant., A. B. Patki Department of Electronics & Telecommunications, COEP, Pune, India. – 411005
6. *Елементи прикладної математики*. Я. Б.Зельдовіч, А. Д. Мишкіс. – 500 с.
7. Леоненков А. В. Л47 Нечеткое моделирование в среде MATLAB и frzzyTECH. СПб.: БХВПетербург, 2005. 736 с.: ил. SBN 5941570872

*А. А. Максименко,*

*В. С. Ситников,*

Одесский национальный политехнический университет,

г. Одесса, Украина

## ПОСТРОЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ, ИМЕ- ЮЩИМ ОГРАНИЧЕННЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РЕСУРСЫ, НА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ

*В работе рассмотрено построение компьютерной системы автоматического управления объектом, имеющим ограниченные вычислительные и энергетический ресурсы, на нечеткой логике, устойчивой к непредсказуемым колебаниям, или другим влияниям и помехам внешней среды. Исследованы такие вопросы, как вычислительная сложность нечеткого регулятора и затраты энергии в режиме влияния на систему непредсказуемых изменений внешней среды. Предложен метод построения системы автоматического управления работающей под воздействием непредсказуемых внешних колебаний.*

**Ключевые слова:** компьютерная система; система управления; нечеткая логика; непредсказуемые колебания на входе системы; корреляционный анализ.

*A. A. Maksimenko,*

*V. S. Sitnikov,*

Odessa National Polytechnic University,

Odessa, Ukraine

## CONSTRUCTION OF AUTOMATIC CONTROL OF A COMPUTER SYSTEM OBJECT WITH LIMITED COM- PUTING AND ENERGY RESOURCES, USING FUZZY LOGIC

*In this paper constructing a computer automatic control system design, with limited computing and energy resources using fuzzy logic, resistant to unpredictable fluctuations, or other influences and interference environment is considered. Studied issues such as computational complexity of a fuzzy controller and energy costs in the mode of influence on the system of unpredictable changes in the environment. A method of constructing automatic control systems operating under the influence of unpredictable external vibrations is offered.*

**Key words:** computer system; control system; fuzzy logic; unpredictable fluctuations in the input of the system; correlation analysis.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. *М. Т. Фісун;*

д. т. н., проф. *І. І. Коваленко.*

© Максименко А. О, Ситніков В. С., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 16.11.16*



## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОБИЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЛЕСНОГО ПОЖАРА

*В статье рассматриваются существующие решения для обнаружения лесных возгораний, сравниваются их реализация, преимущества и недостатки. Предлагается осуществлять мониторинг лесных территорий с помощью системы коптеров и координирующего программного обеспечения. Производится сравнение существующих систем с предлагаемой, анализ и описание процесса моделирования поведения данной системы.*

**Ключевые слова:** *повышение эффективности; мобильные системы; анализы производительности; эффективность; мониторинг; пожар; лесной пожар.*

Проблема лесных пожаров является чрезвычайно актуальной, учитывая частоту и масштаб, с которыми они происходят. Многие страны имеют территории, подверженные риску выгорания от лесных пожаров. Какими бы ни были в наличии ресурсы для их ликвидации, в случае позднего обнаружения возгорания и быстрой скорости распространения, их будет недостаточно для эффективной борьбы с пожаром. От этого страдают, в том числе, крупные страны с развитой инфраструктурой. Показательным примером может служить пожар в Канаде летом 2016 года, в результате которого пострадал город Форт-Макмюррей провинции Альберта на западе страны [1]. Поэтому раннее обнаружение источника возгорания, распространившегося на минимальную территорию, — ключ к успеху в борьбе со стихией. По аналогии с медициной, где раннее обнаружение болезни позволяет провести более эффективное лечение, в особенности тяжелых заболеваний.

Лесные пожары классифицируются по нескольким типам [2]:

- в зависимости от места распространения
- по силе

Можно выделить две причины возникновения пожара:

- природные
- антропогенные

Согласно статистике, пожары по природным причинам происходят намного реже, чем по вине человека. В первом случае, в большинстве случаев пожары возникают из-за ударов молнии, реже (но масштабнее) – из-за жары.

Существуют различные системы обнаружения возгорания, однако новостные сводки свидетельствуют

о том, что их работа несовершенна и нуждается в улучшениях.

В качестве примера возьмем систему «Лесной дозор» [3]. Данный комплекс является системой наземного мониторинга, которая опирается на видеокамеры и различные датчики, которые стационарно установлены на вышки. Преимуществом является слабая зависимость от погодных условий, однако ради этого приходится жертвовать мобильностью. Тем самым, данная система требует установки достаточного числа вышек, чтобы покрыть необходимую территорию. Поскольку площадь лесных массивов часто занимает далеко не один гектар, ставится под сомнение целесообразность такого решения. В частности, возникает вопрос, какой ресурс необходимо потратить на установку данной системы и насколько это повлияет на биосферу покрываемых территорий.

Рассмотрим иной подход к решению данной проблемы, ставший предметом разработки в Канаде [4]. В данном случае был сделан упор на мобильность системы, что позволяет меньшими затратами увеличить покрываемую площадь. Однако, при таком подходе также есть минусы – за счет использования самолета увеличивается время обнаружения пожара, поскольку самолет в конкретный момент времени покрывает только маленький участок. Какими бы мы не выбрали траектории и маршруты, мы не сможем максимально эффективно среагировать на возгорание, особенно в случаях быстро разрастающихся пожаров. Возможным решением данной проблемы может стать увеличение кол-ва задействованных самолетов, что в свою очередь влечет за собой большие затраты на ресурсы для функционирования системы. Кроме того, стоит

учитывать, что в данном случае приходится в большем кол-ве задействовать человеческий ресурс.

Наиболее эффективным можно считать обнаружение в тот момент, когда площадь возгорания является минимальной. Соответственно, имеет смысл поставить задачу снизить время обнаружения места возгорания, чтобы не допустить распространения пожара до той стадии, когда на его ликвидирование будет не хватать имеющихся ресурсов. Одним из ключевых параметров, необходимых для реализации такого подхода, является мобильность. Исходя из этого, наиболее подходящими кандидатами на роль таких передвижных датчиков являются коптеры.

Из плюсов такого подхода можно выделить крайне высокую мобильность, возможность установки необходимых датчиков и устройств связи, возможность работы в автономном запрограммированном режиме, относительная дешевизна производства.

К минусам можно отнести ограниченное время автономной работы, зависимость от погодных условий (в большей степени от сильного ветра и осадков).

С учетом вышесказанного, предлагается следующая архитектура системы обнаружения лесного возгорания на основе – системы коптеров, вышек для подзарядки их аккумуляторов, центрального пункта реагирования и программного обеспечения.

Рассмотрим каждую из них в отдельности.

Система коптеров представляет из себя набор коптеров, которые осуществляют патрулирование по заданному программным обеспечением маршруту, покрывающему максимально эффективную площадь лесного массива. Каждый коптер оснащен тепло- и инфракрасными датчиками, с помощью которых они могут идентифицировать источник возгорания. Также на борту коптера имеется устройство связи с центральным пунктом реагирования.

Одна из основных проблем коптера заключается во времени его автономной работы. С учетом того, что в нашей системе коптеры не осуществляют транспортировку полезного груза и имеют на борту минимальный набор необходимого оборудования, мы можем устанавливать на него аккумуляторы с максимально эффективной емкостью. Однако, какой бы ни была емкость аккумулятора, мы не сможем обеспечить ему длительную автономную работу без подзарядки. Поэтому к процессу создания такой системы стоит добавить разработку подобной конструкции-вышки, которая будет служить док-станцией для подзарядки коптера. Данный вопрос может послужить предметом рассмотрения в отдельной статье. В качестве вариантов, можно предложить следующие:

- замена аккумулятора с последующей зарядкой использованного аккумулятора (подход Tesla) [5].
- короткая дозарядка аккумулятора с определенными интервалами (подход на основе разработки китайских инженеров в сфере общественного транспорта) [6].

Первый вариант сокращает длительность периода, когда коптером не осуществляется процесс патрулирования. Следовательно, мы не жертвуем эффективностью системы, однако кол-во аккумуляторов, за-

действованных в отдельно взятом коптере, увеличивается, как минимум, вдвое.

Второй вариант позволяет использовать один аккумулятор на каждый коптер, однако зарядка происходит непосредственно при участии коптера. Таким образом, происходит потеря времени реакции на возгорание.

Центральный пункт реагирования принимает сигналы с коптеров и направляет ресурсы на устранение возгорания. Также в его задачу будет входить отправка коптеров «на базу» в случае существенного ухудшения погодных условий, когда применение коптеров невозможно. Пункт является центральным источником команд для всех задействованных коптеров, между каждым отдельным коптером существует двусторонняя связь – коптеры посылают сигнал обнаружения очага возгорания в пункт реагирования. Пункт, в свою очередь, мобилизует ресурсы для ликвидации возгорания и, при необходимости, передает дальнейшие указания коптеру. В случае быстро распространяющегося пожара, могут быть задействованы ближайšie коптеры для отслеживания площади возгорания и его развития.

Программное обеспечение включает в себя логику, прошитую в контроллеры коптеров, с помощью которых они будут осуществлять маршрут патрулирования, отсылать данные с датчиков на центральный пункт реагирования при обнаружении возгорания. Для повышенной эффективности работы системы, на центральном пункте реагирования предусматривается возможность спрогнозировать дальнейшее распространение пожара и принимать меры по слежению за его развитием. В рамках данной системы предлагается задействовать ближайšie к обнаружившему возгорание коптеру летательные аппараты

Общий алгоритм работы для всей системы следующий: коптеры осуществляют патрулирование по заданному маршруту для данной территории. В случае обнаружения каким-либо из коптеров источника возгорания, он посылает сигнал на центральный пункт реагирования сигнал о локализации возгорания. Тот, в свою очередь, отправляет сигнал ближайшим коптерам для определения площади возгорания и дальнейшим слежением за ней. Коптеры работают до тех пор, пока пожар не будет ликвидирован. В случае успеха, коптеры возвращаются в режим патрулирования.

Следует учесть, что в процессе слежения за пожаром, коптеры не смогут производить подзарядку в обычном режиме. Поэтому возникает вопрос об оптимальной работе задействованных коптеров в таком режиме, поскольку в момент низкого заряда аккумулятора они не смогут постоянно находиться поблизости от вышек для подзарядки. Возвращаясь к вопросу о реализации таких док-станций, стоит остановиться на выборе именно подхода с мгновенной заменой батареи, т.к. время при такой ситуации становится критической характеристикой. В любой момент развитие пожара может измениться.

Для упрощения задачи с прогнозированием развития возгорания, в работе использованы имеющиеся разработки по вычислению скорости распространения

пожара, созданные на кафедре Компьютерных систем ОНПУ. Это существенно поможет максимально задействовать программные ресурсы для слежения за динамикой чрезвычайной ситуации.

С учетом вышесказанного спроектирована архитектура системы и проведено моделирование работы данной системы в заданных условиях. Для этого использованы возможности WEB-программирования. В качестве модели лесной территории использованы Google Maps API, поскольку в ней имеется возможность работы с логикой с непосредственным заданием необходимых координат. Модели коптеров представляют собой объекты, для которых заранее задан маршрут патрулирования и которые содержать

в себе функции детектирования источника возгорания и связи с пунктом реагирования. В случайный момент времени на случайно выбранных координатах обозначено возгорание со случайно заданными параметрами распространения (изначальная площадь, скорость и направление распространения, и т.д.). Данное возгорание система обнаруживает в процессе патрулирования и осуществляет слежение за ним. Работа системы считается успешной, когда возгорание обработано за короткий период времени, при котором пожар не успел распространиться на определенные территории. Ликвидация пожара не входит в рассмотрение в данной работе.



**Рис 1.** Визуализация работы модели системы на реальном природном парке

Таким образом, рассмотрена альтернативная система мониторинга лесных массивов для обнаружения лесного возгорания. Предложена архитектура системы, проведен сравнительный анализ с уже существующими системами, рассмотрены их плюсы и минусы. Описан метод моделирования работы системы на ос-

нове современных WEB-технологий. Предложенная система имеет определенные преимущества перед существующими аналогами, которые позволяют ей эффективно производить мониторинг лесной территории и локализовать возможные возгорания.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. <http://www.segodnya.ua/world/lesnoy-pozhar-vyzheg-gorod-v-kanade-713903.html>
2. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Лесной\\_пожар](https://ru.wikipedia.org/wiki/Лесной_пожар)
3. <http://lesdozor.ru/ru/problemy-obnaruzheniya-lesnyh-pozharov/analitika/qlesnoj-dozorq-effektivnaya-sistema-rannego-obnaruzheniya-lesnykh-pozharov>
4. <http://dsn.sagepub.com/content/10/3/597368.full>
5. <https://www.tesla.com/supercharger>
6. [http://www.chinadaily.com.cn/china/2015-08/12/content\\_21571870.htm](http://www.chinadaily.com.cn/china/2015-08/12/content_21571870.htm)

**К. С. Олейников,**

**В. С. Ситников,**

Одеський національний політехнічний університет,  
м. Одеса, Україна

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРІНГУ ЛІСОВОГО ЗАЙМАННЯ

*Проблема лісових пожеж є надзвичайно актуальною, враховуючи частоту та масштаб, з якими вони відбуваються. Багато країн мають території, схильні до ризику вигорання від лісових пожеж. Якби не були ресурси в наявності для їх ліквідації, у разі пізнього виявлення загоряння та швидкого поширення, їх не вистачить для ефектної боротьби з пожежею. Від цього страждають, у тому числі, великі країни з розвинутою інфраструктурою. Показовим прикладом може бути пожежа в Канаді літом 2016 року, в результаті якого постраждало місто Форт-Макмуррей провінції Альберта на заході країни. Тому раннє виявлення джерела загоряння, яке розповсюдилось на якомога меншу територію, – ключ до успіху у боротьбі зі стихією. Аналогічно з медициною, де раннє виявлення хвороби дозволяє провести більш ефективне лікування, в особливості тяжких захворювань.*

**Ключові слова:** підвищення ефективності; мобільні системи; аналіз продуктивності; ефективність; моніторинг; пожежа; лісова пожежа.

**K. S. Oleinikov,**

**V. S. Sytnikov,**

Odessa National Polytechnic University,  
Odessa, Ukraine

## EFFICIENCY IMPROVEMENT OF FOREST FIRE DETECTION MOBILE SYSTEMS

*The problem of the forest fires is extremely urgent, considering the frequency and scale of their occurrence. Many countries have territories, that are highly fire-prone. In case of late detection of the fire and considering its fast spreading, the resources available in any quantity will not be able to stop it. Even large countries with developed infrastructure are vulnerable to this problem. Recent example of this happening is the fire in Canada in summer 2016, during which Fort-McMurray city of west province Alberta was almost destroyed. So the early detection of the fire source, which is spread on the minimal territory, is the key to successful fire control. By analogy with medicine, where the early detecting of the disease allows to provide more effective treatment, especially for serious illness.*

**Key words:** efficiency improvement; mobile systems; performance analysis; efficiency; monitoring; fire; forest fire.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. П. Мусієнко;**

к. т. н., доц. **І. М. Журавська.**

© Олейников К. С., Ситников В. С., 2016

Дата надходження статті до редколегії 10.10.16

## **МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ БАЗОВИХ ПРИНЦИПІВ АУТОПОЙЕЗИСУ**

*В статті розглянуто проблеми проектування складних систем як актуального завдання теорії системотехніки. Розглянуто особливості інформаційних процесів у складних системах та сучасні підходи до врахування зростаючої складності систем на основі аутопойетичної концепції. Запропоновано підхід до моделювання складних систем на основі визначення базових принципів аутопойезису.*

**Ключові слова:** аутопойезис; складна система; інформаційна система; модель; проектування.

**Вступ.** Ріст складності структури та процесів, що відбуваються у сучасних системах управління, призводить до залучення все більших обсягів даних та, як наслідок, ускладнення моделей та методів обробки інформації. Не зважаючи на рівень розвитку сучасних комп'ютерних технологій, інформація, яка використовується для управління складними системами, характеризується неповнотою, неточністю, суб'єктивізмом та має слабо структуровану форму. Це обумовлює низьку ефективність сучасних інформаційних систем та моделей обробки даних. З іншого боку, вказані недоліки інформації не дозволяють підвищити ефективність інформаційних систем управління на основі існуючих підходів. Все це призводить до необхідності не тільки вдосконалення існуючих моделей та методів управління складними системами, а й до пошуку нових підходів до проектування інформаційних систем.

Будь-яка діяльність тим більш успішна, чим вище рівень її системності. Системні дослідження отримали широке розповсюдження у цілій низці наук. Важливу роль вони відіграють у техніці, де сформувався особливий науковий напрям – системотехніка. Основні проблеми загальної теорії систем та системотехніки співпадають у багатьох випадках, але мають свою специфіку. Значне місце займають питання проектування складних систем. З проектуванням тісно пов'язано питання моделювання складних систем, зокрема інформаційних систем та процесів.

**Постановка проблеми.** Поняття «система» широко використовується в науці і практиці для позначення об'єктів вивчення людини. У науково-технічній літературі, мережі Інтернет, засобах масової інформації об'єкти різної природи називаються відповідними

видами систем – технічної, економічної, політичної, соціальної, операційної і т. д. Широта уживання поняття системи зумовила і множину визначень цього поняття, в якому виділяють дві групи [1]. Перша група визначень відображає принципи вивчення навколишнього світу, які склалися в природничих науках. Дослідники поділяють досліджувану систему на елементи, вивчають властивості елементів, взаємодію (зв'язки) елементів з урахуванням їх властивостей і таким чином отримують уявлення про систему в цілому як про сукупність взаємопов'язаних елементів.

Досить точну формалізацію системи  $S$ , яка визначається згаданим чином, запропонував Месарович [2] шляхом введення сімейства множин  $\tilde{X} = \{X_i \mid i \in \overline{1, n}\}$ , де  $X_i$  – повна сукупність прояву атрибуту  $i \in \overline{1, n}$ . Тоді система  $S$  є таким відношенням на  $\tilde{X}$ , що  $S \subset X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ . Інакше кажучи, система  $S$  являє собою повну сукупність проявів реально існуючого об'єкта, який називається системою. Недоліком визначень першої групи є те, що не враховується властивість системи як цілісного об'єкта і властивості, які не зводяться до властивостей елементів системи.

У визначеннях другої групи зазначений недолік усувається. У них реалізується принцип подвійності, згідно з яким система, з одного боку, є цілісним об'єктом і як елемент входить у систему більш високого рівня, а з іншого боку, вона розчленовується на елементи, що її складають. Визначення другої групи «довизначають» систему відповідно до визначень першої групи і тим самим більш повно виражають такі особливості складних систем як:

- велика кількість елементів, що утворюють ієрархічну структуру змінного, а іноді і стохастичного характеру;

- дії елементів, які мають, як правило, невизначений і нестаціонарний характер;

- наявність різних цілей, які часто мають суперечливий характер;

- відсутність математичного опису.

Сучасні вимоги до інформаційно-керуючих систем ставлять перед розробниками все більш складні завдання. Це обумовлює актуальність здатності сучасних складних інформаційних систем реагувати на зовнішнє середовище, яке динамічно змінюється, з урахуванням внутрішніх станів. Дослідження та проектування будь-яких складних систем можливо лише за умов урахування принципів цілісності та ієрархічності. Вивчення складних систем достатньо проблемне з погляду складності структури, інваріантності поведінки та невизначеності шляхів розвитку. Це обумовлює використання моделей та прогресивних підходів до дослідження складних систем та процесів.

В сучасній науці існує розширення теорії систем за рахунок введення спеціальних систем. Спеціальні системи неможна визначити перерахунком їх компонент або розташуванням їх елементів. Основним атрибутом системної сутності тут є набір морфізмів між компонентами системи, які, по-перше, визначають свою форму в момент часу, по-друге, виступають у ролі ядра ідентифікації системної сутності, незалежно від динамічних змін системи у часі. До систем спеціального типу можна віднести аутопойетичні (самовідтворювальні) та дисипативні (розсіювальні) системи [3].

Термін аутопойезис, утворений від грецьких слів *auto* (сам-) та *poiesis* (створення; виробництво), був введений Умберто Матураной та Франсиско Варелой у 1972 р. для визначення особливостей живих організмів – самовідтворювання компонент, які реалізують їх організацію [4]. Категорія самовідтворювання означає те, що по-перше, система самовідтворює саму себе як систему, по-друге, система самовідтворює морфізми між своїми компонентами, по-третє, система самовідтворює семантику (сутність свого існування). Аутопойетичну теорію можна застосовувати у різних галузях людських знань, таких як інжиніринг програмного забезпечення, штучний інтелект, соціологія та психотерапія.

Інформаційна система як сутність реалізується через наявність морфізмів своїх компонент в інформаційному просторі, які містять у собі інформаційну структуру. Більшість інформаційних систем в Інтернеті мають структури, які динамічно змінюються. Можливості побудови сайтів із функціональноскінчених конструктивних одиниць в інформаційних системах з послугами хостингу, створення поштових скринь, власних чатів і т. п., призводять до того, що продовжуючись рекурентно інформаційні взаємодії між системою та середовищем, яке включає множину користувачів, змінюють в цілому інформаційну структуру хостинг-порталу. Онтогенезис морфізмів представляє еволюційний розвиток окремих інформаційних систем. Між онтогенетичним та філогенетичними

морфізмами існує тісний взаємозв'язок, який дозволяє на основі перших, наприклад, зробити висновок о філогенезисі інформаційного простору [5, 6]. Онтогенетичні морфізми інформаційних систем надають компенсаційних впливів на філогенезис зовнішнього інформаційного середовища, в рамках якого вони відбуваються. Компенсація означає те, що існує діапазон змін, обмежений лімітом у точці біфуркації, в якому структура інформаційної системи зберігає стійкість та при малих інформаційних впливах здатна зберігати totoжність до самої себе.

Таким чином, врахування цього феномену при проектуванні складних інформаційних систем та процесів, є однією з важливих, та водночас невирішених, проблем сучасної теорії системотехніки.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Багато авторів займалися проблемами управління складних систем. Зокрема, цим проблемам присвячені праці таких авторів, як І. Ансофф, В.Н. Бурков, Д.О. Новиков, Т. Сааті, А.Д. Цвиркун, та багатьох інших [7-9]. Теоретичною основою для вирішення задач управління складними системами є: загальна теорія систем, системний аналіз [10] і методи оптимізації.

Як показав проведений аналіз, складність об'єкту управління, з одного боку, та розширення цілей та завдань управління, з іншого, – призвели до появи низки нових концепцій управління. Зазвичай теза про складність та відкритий характер сучасних систем управління не потребує доказів. Така постановка задачі призвела до появи низки різноманітних методів врахування невизначеності та випадковості зовнішнього оточення та внутрішніх процесів складної системи [11-14].

Кібернетика, як наука про загальні закони одержання, зберігання, передавання й перетворення інформації у складних системах управління, сформувала загальні принципи створення систем управління і систем для автоматизації. Значний внесок у становлення та розвиток кібернетики зробили такі українські вчені як: М. М. Амосов, П. І. Андон, А. В. Анісімов, В. М. Глушков, В. Ф. Губарев, В. С. Дейнека, М. З. Згуровський, О. Г. Івахненко, І. М. Коваленко, В. М. Кунцевич, О. В. Палагін, І. В. Сергієнко. Об'єктами кібернетики є будь-які керовані системи, які розглядаються абстрактно, не залежно від їхньої матеріальної природи. Довгі часи кібернетичні принципи управління були домінуючими серед прогресивних підходів управління складними системами.

Зростаюча складність систем та процесів, що в них протікають зумовила пошук нових підходів та розвиток кібернетичних принципів для нових умов. Адаптивна методологія управління [15] концентрує увагу на динаміці не тільки об'єкту управління, а також і на постійній зміні зовнішнього середовища.

З певного моменту зросту складності системи можна ідентифікувати нові властивості системи, пов'язані з її інтегральними якостями – самопобудова та зростання складності під впливом внутрішніх системних змін. Дослідження цих процесів проводяться в рамках аутопойетичної концепції створення складних систем [16]. Зважаючи на складність сучасних інформаційних систем та процесів потребують подальшого

вивчення моделі та підходи проектування складних систем, які базуються на системно-еволюційній парадигмі, враховують закономірності сталого розвитку складних систем та особливості їх еволюції на етапах адаптивного та біфуркаційного розвитку.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є визначення поняття «аутопойезис» с точки зору системотехніки та проектування складних інформаційних систем, що дозволить визначити принципи моделювання складних систем відповідно до сучасних вимог до рівня їхньої складності.

**Основні результати.** Швидкий розвиток і ускладнення техніки, збільшення масштабів і вартості робіт при створенні нових систем, широке впровадження автоматизації – все це привело до необхідності введення поняття складної системи. Складною системою називається множина взаємопов'язаних і взаємодіючих елементів і підсистем різної фізичної природи, що складають нероздільне ціле, забезпечують виконання заданої складної функції і описуються досить складними математичними моделями.

Найбільш важливими у створенні складної системи є початкові етапи і стадії проектування, де формується уявлення про досліджувану систему, формулюються основні вимоги до її характеристик, створюється узагальнена модель структури системи і описуються закони її функціонування. Помилки, допущені на цих етапах проектування, можуть призвести до невірних витрат інтелекту, часу і грошових коштів, нераціональних рішень і, нарешті, навіть до нереалізованих проєктів.

Основні особливості складних систем:

- багатовимірність, пов'язана з наявністю великої кількості елементів і зв'язків між ними;
- ієрархічний багаторівневий характер подання самої системи та структури управління;
- множина структурно-компонувальних рішень;
- багатоаспектність подання;
- розподіленість у просторі та часі;
- багатоцільове функціонування;
- імовірнісне функціонування і поведінка системи, обумовлені складною взаємодією з мінливим зовнішнім середовищем.

Одним з найважливіших інструментів системного аналізу, який дозволяє отримати опис ієрархії зв'язків, механізмів і структур складних багатокомпонентних систем, є моделювання, що дає можливість:

- візуалізувати систему в її поточному або бажаному для дослідника стані;
- визначити структуру або поведінку системи;
- отримати шаблони, що дозволяють формувати і моделювати системи даного класу.

Виникнення формальної системи є результатом взаємодії дослідника з системою як частиною середовища згідно з поставленими цілями. Модель як формальна система завжди простіше реальної системи, яка є об'єктом вивчення дослідника. У моделі зберігають лише основні якості системи, що вивчається, вони представляють найбільший інтерес для дослідника виходячи з цілей дослідження. Основним засобом для дослідження складних систем є математичні моделі, під якими розуміються формальні системи з

елементами у вигляді математичних об'єктів (чисел, змінних, матриць, множин і т.д.) і відносин між ними, що відображають властивості модельованої реальної системи. Вид математичної моделі залежить від природи модельованої системи, цілей моделювання, необхідної точності та достовірності вирішення завдань дослідження і т.д.

У даний час поряд з широко використовуваними традиційними методами аналітичного моделювання велика роль відведена методам імітаційного моделювання, які дають можливість отримати найбільш якісні результати при аналізі динаміки поведінки складної системи, дозволяючи найбільш гнучко, повно і наочно відображати процеси, що протікають у них.

Для побудови математичної моделі використовуються неформальні і формальні методи. Неформальні методи використовуються для отримання математичних моделей елементів системи, що розташовуються на різних ієрархічних рівнях. Реалізація неформальних методів включає вивчення закономірностей процесів і явищ у модельованій системі або її елементах, виділення істотних факторів, прийняття різного роду припущень та їх обґрунтування, математичну інтерпретацію наявних відомостей і т.д.

Усі зазначені операції побудови математичної моделі реалізуються кваліфікованими фахівцями. Від успішності реалізації цих операцій залежать показники ефективності математичної моделі – ступінь універсальності, точність, економічність. Метою вивчення закономірностей процесів і явищ є визначення природи процесів, явищ і законів, яким вони підкоряються.

Однією з принципових проблем моделювання складних систем є проблема одночасного моделювання різних видів процесів. Проблема полягає в тому, що математичні схеми для моделювання різних видів процесів не сполучаються одна з одною, що не дозволяє отримати узагальнену модель складної системи, а також модель сполучення не надає відповідного опису змін, які є наслідком внутрішнього розвитку системи.

Розв'язанням проблеми побудови узагальненої моделі є розроблення універсальної математичної схеми на базі нової аутопойетичної парадигми, що дозволяє відображати особливості всіх видів процесів, які протікають у складній системі, та різних їх комбінацій.

Категорія аутопойетичної системи визначає складну систему як «мережу процесів виробництва (трансформації та руйнування), яка складається з компонентів, які виробляють компоненти, що: 1) через взаємодію та зміни регенерують та реалізують мережу процесів, які їх виробляють; 2) визначають систему як деяку єдність у просторі, в якому її компоненти існують» [17].

Згідно з аутопойетичною теорією, набір морфізмів, що визначають системну сутність, будемо називати організацією системи. Аутопойетична система повинна відтворювати свої власні компоненти для збереження своєї організації. Організація реалізується через взаємодію компонентів системи в фазовому просторі станів. Компонентні морфізми містять у собі

структуру системної єдності. При цьому структура жорстко не задає характер єдності системи, а лише визначає фазовий простір його існування, а якому вона знаходиться і піддається впливам з боку середовища.

У відповідності з теорією розрізняють два поняття – організація та структура системи, що являє базу для сортування описів системи на її абстрактні та конкретні аспекти. Організація інформаційної структури не задає властивості компонентів, які реалізують структуру як інформаційну систему, вона лише задає морфізми, які компоненти системи повинні генерувати, для конструювання системи як єдності [6]. Таким чином, організація інформаційної системи незалежна від властивостей компонентів, які її складають, які можуть бути будь-якими, а інформаційна система може бути реалізована множиною різних способів та множиною різних компонентів.

Однак динаміка поведінки інформаційної системи обмежується її конституцією, а зміни структури є компенсаторною поведінкою системи під впливом з боку середовища та інших систем. Зміни у віртуальному просторі можуть лише викликати зміни фазового стану системи, але не можуть визначити його, так як будь-який стан інформаційної системи, перш за все, визначається її власною організацією та структурою. В просторі станів інформаційної системи тільки структура системи визначає домен можливих морфізмів та діапазон нових форм, в рамках котрих вона може еволюціонувати, не втрачаючи своєї організації. Організація системи обмежує галузь можливих морфізмів системи лише тими морфізмами, в котрих аутопойетична система може приймати участь без втрати свого ядра ідентифікації. Так, у роботі [6] робиться висновок: щоб інформаційна система, яка реалізована у віртуальному просторі була працездатною довгий час, недостатньо лише створення її інформаційної структури, визначення наборів сервісів, протоколів та технологій для її підтримки. Важливою умовою її існування та життєздатності у віртуальному середовищі є підтримка її організації, збереження мережі морфізмів, які складають ядро ідентифікації та визначають систему як єдність.

Можна виділити три ключових властивості аутопойетичної системи: 1) автономія; 2) внутрішній поштовх; 3) самооновлення. Враховуючи ці особливості можна запропонувати універсальну модель для проектування складної інформаційної системи, яка реалізує наступні механізми:

- зміни стану складної системи під дією внутрішніх причин, що виникають у результаті взаємодії елементів системи між собою;
- прийому вхідного сигналу із зовнішнього середовища і зміни стану під дією цього сигналу;
- формування вихідного сигналу як реакції на зміну стану складної системи під впливом внутрішніх або зовнішніх причин.

Функціонування складної системи зводиться до виконання зазначених механізмів. Для розгляду механізмів припустимо, що в початковий момент часу  $t_0$  складна система перебуває у стані  $z^0$ , де  $z^0$  – внут-

рішня точка замкнутої області  $Z$  у  $n$ -вимірному просторі станів системи.

У рамках механізму зміни стану під дією внутрішніх причин система переходить зі стану  $z^0$  в інші стани  $z_t \in Z$ , що відповідають моментам часу  $t > t_0$ , здійснюючи при цьому рух  $z(t)$ .

Характер причин, що підтримують рух, не змінюється аж до виходу точки  $z_t$  на кордон замкнутої області  $Z$ . Нехай моментом часу виходу на кордон буде  $t^*$ , а станом  $z^* = z_{t^*}$ . Сукупність упорядкованих пар  $(t, z_t)$  для  $t_0 < t < t^*$ , тобто  $\{(t, z_t) | t_0 < t < t^*\}$ , являє собою фрагмент руху  $z(t)$ , відповідний інтервалу  $(t_0, t^*)$ . Для завдання цього фрагмента руху всередині області  $Z$  необхідно вказати співвідношення, що визначають значення  $z_t$  для  $t \in (t_0, t^*)$ , при відомих значеннях  $t_0$  і  $z^0$ .

У момент  $t^*$  стан системи  $z^*$  стрибкоподібно, миттєво змінюється, і система опиняється в стані  $z' = z_{t^*+0}$ , де  $t^* + 0$  – момент часу, близький до  $t^*$ .

Вибір стану  $z' \in Z$  реалізується випадково. Фрагмент руху, пов'язаний з переходом від точки  $(t^*, z^*)$  до точки  $(t^* + 0, z')$  фазового простору, є стрибком стану, що обумовлений аутопойезисом системи. Крім цього, в момент  $t^*$  визначається вихідний сигнал  $y_{t^*} = G^*(t^*, z^*)$ , який залежить від  $t^*$  та  $z^*$  та відображає вплив зовнішнього середовища.

Із стану  $z'$  під дією внутрішніх причин система переходить в інші стани, здійснюючи нове переміщення всередині області  $Z$ , новий стрибок на новий рівень складності і т.д., що реалізує ітеративну властивість аутопойезису складної системи.

Вибір наступного стану  $z'' \in Z$  здійснюється випадково. У цей момент крім стрибка стану формується і видається вихідний сигнал  $y_{t^*} = \hat{G}(\hat{t}, \hat{z}, \hat{x})$ . Далі

зі стану  $z''$  система переходить в інші стани або під дією внутрішніх причин, або під впливом зовнішнього середовища.

Таким чином, процес функціонування складної системи, який відображається за допомогою універсальної моделі на основі аутопойетичної парадигми, складається з переміщень точки  $(t, z_t)$  всередині області  $(t, Z)$ , які можуть перериватися стрибками станів в опорні моменти часу (рис. 1).

Математично модель функціонування складної системи виражається:

- 1) рівнянням меж області  $Z$ ;
- 2) рівняннями руху точки  $z_t$  всередині області  $Z$ ;
- 3) співвідношеннями для розрахунку стрибка стану внаслідок внутрішньої організації або надходження вхідного сигналу із зовнішнього середовища;



4) співвідношеннями для розрахунку вихідних сигналів.

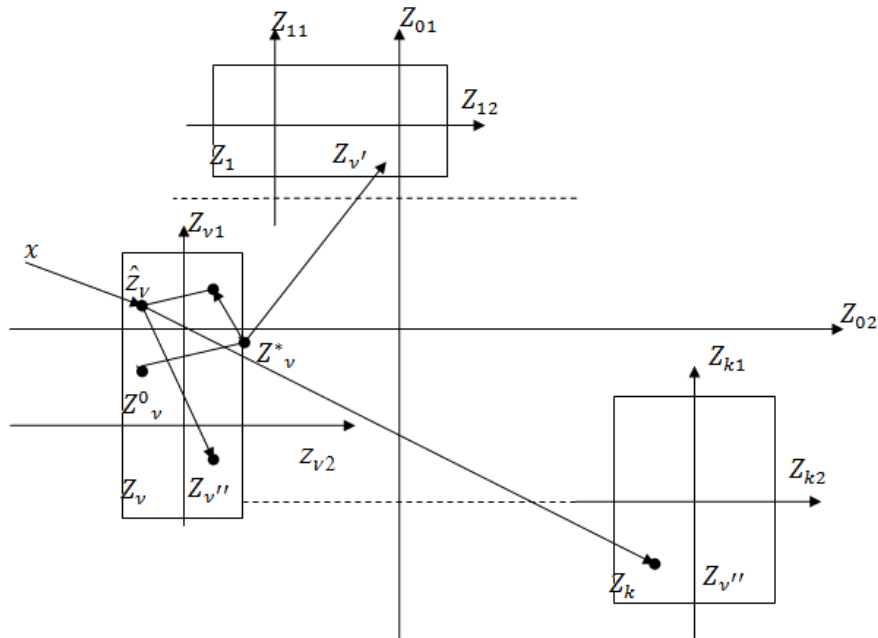


Рис. 1. Розподіл підмножин станів у двовимірному просторі

Будь-яка складна система, як правило, передбачає наявність великої кількості елементів, між якими встановлюються різноманітні зв'язки. По зв'язках у вигляді деяких сигналів передається інформація, яка використовується для функціонування як окремих елементів, так і для системи в цілому. Зв'язки забезпечують «міцність» системи і тому є важливим «будівельним матеріалом» для системи, який обов'язково повинен враховуватися при побудові моделі системи. Наявність зв'язків якраз і враховується в моделях сполучення.

В якості доповнення до основних доменів аутопоетичної системи в статті введено поняття інформаційний домен, який є описом інформаційних потоків. Структурне сполучення визначає структурно-детерміновану взаємодію системи із зовнішнім середовищем або іншою системою. Це еволюційний процес, який призводить до просторово-часового збігу фазових станів. Структурне сполучення визначає також координату систем та їх взаємну адаптацію. Цей процес еволюційного розвитку, рекурентних взаємодій двох або більше систем призводить до структурного сполучення. Термін означає структурний детермінізм системи, в рамках якого визначаються умови для з'єднання однієї топологічної структури з іншою у межах оточуючого зовнішнього середовища. Треба розглядати два типи структурного сполучення.

Системне сполучення з зовнішнім середовищем - це результат адаптації системи до зовнішнього середовища, що визначається через зміни станів системи в залежності від змін станів самого середовища. Цей процес описує взаємодію системи із середовищем, викликаючи рекурентні пертурбації системи, результатом яких є вибір структури, адаптованої до умов зовнішнього середовища, що змінюється. Отримана структура, з одного боку, дозволяє системі взаємодіяти із зовнішнім середовищем із можливими припустимими модифікаціями, а, з іншого боку, дозволяє

системі знаходитися у зовнішньому середовищі без власної дезінтеграції. Системне сполучення визначає пристосування системи до умов зовнішнього середовища через зміни її структури.

Системне сполучення з іншою системою визначає узгоджений структурний домен систем. Це домен станів, який встановлюється та визначається за допомогою онтогенетичних взаємодій між статичними станами систем. Сполучені системи є по відношенню одна до одної джерелами компенсаційних взаємодій. Такі взаємодії не порушують цілісність меж системи та не викликають змін зовнішнього середовища. При цьому структурно-сполучені системи мають незалежну історію структурних трансформацій та впливають на траєкторії одна одної в фазовому просторі еволюційного розвитку. При адаптації інформаційної системи у віртуальному середовищі відбувається структурне сполучення системи з середовищем, результатом чого є зміни станів системи, які відповідають змінам стану середовища та визначають область узгодженості в фазовому просторі. При взаємній адаптації двох або більш інформаційних систем результатом сполучення є узгоджена область в фазовому просторі інформаційних морфізмів.

Опис інформаційного середовища для складних систем проектування синтезується за допомогою інструментальних засобів та налагоджується із врахуванням конкретних вимог користувача. Ядром інструментальних засобів є база знань про проблемну область користувача та способи їх автоматизації. Інформаційне середовище утворюється з інформаційних об'єктів, які є по суті інформаційними моделями об'єктів матеріального світу. Функціональні характеристики задаються у вигляді семантичної мережі в базі знань. Кожен розділ бази знань визначає: групи властивостей, параметри налагодження, елементи проектування, параметричні ряди.

Таким чином в статті зроблена спроба розглянути базисні положення теорії аутопойезису з точки погляду застосування для проектування складних інформаційних систем. Важливою умовою існування та життєдіяльності інформаційної системи є підтримка її організації, збереження мережі морфізмів, які складають ядро ідентифікації та визначають її як системну єдність. Крім того, розширенням аутопойетичної теорії є визначення інформаційного домену для опису інформаційних потоків через рефлексію до станів та траєкторій еволюції інформаційного простору.

**Висновки.** Зростаюча складність систем та інформаційних процесів вимагає розроблення нових підходів щодо проектування інформаційних систем управління. Відповідно до теорії управління складними системами основним методом дослідження є моделювання. Враховуючи різноманітність концепцій та методів моделювання складних систем, як показано у

статті, цілком доцільним є впровадження сучасної концепції аутопойезису.

Аутопойетична парадигма враховує не тільки складність структури та міжкомпонентних зв'язків у складній системі, а також здатність системи до самопобудови на основі внутрішніх процесів, що призводить до стрибку системи на новий рівень розвитку. На основі проведеного дослідження в статті запропоновано універсальну модель функціонування складної системи, яка базується на основних принципах аутопойетичної концепції: 1) автономія; 2) внутрішній поштовх; 3) самооновлення.

Використання означеного підходу та запропонованої моделі для проектування інформаційних систем дозволить підвищити ефективність використання комп'ютерних інформаційних систем в умовах динамічного інформаційного простору.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Макаров И. М. Целевые комплексные программы / И. М. Макаров, В. Б. Соколов, А. А. Абрамов. – М. : «Знание», 1980. – 135 с.
2. Месарович М. Общая теория систем и ее математические основы. Исследования по общей теории систем / И. М. Месарович. – М. : «Прогресс», 1969. – 321 с.
3. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин. – М., Мир, 1990.
4. Матурана, Умберто Р. Древо познания: Биологические корни человеческого понимания. – М. : Прогресс-Традиция, 2001. – 223 с.
5. Финогеев А. Г. Моделирование и исследование системно-синергетических процессов в информационных средах: Монография, Пенза : Изд-во ПГУ, 2003. – 223 с.
6. Финогеев А. Г. Синергетика, аутопойезис и эволюция информационных процессов // Надежность и качество. Тез. докл. междунар. симпозиума. – Пенза : Изд. ПГУ, 2003. – С. 234–237.
7. Ansoff I., Bosnian A., and Storm P. Understanding and managing strategic change. – Amsterdam, 1982.
8. Бурков В., Новиков Д. Теория активных систем: состояние и перспективы. – М. : Синтег, 1998. – 128с.
9. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М. : Радио и связь, 1993. – 278с.
10. Погромська Г. С., Махровська Н.А. Системний підхід та класифікація еволюціонуючих систем // Первый независимый научный Вестник. – № 1. – 2015.– С. 61–64.
11. Ларичев О. И. Качественные методы принятия решений / О. И. Ларичев, Е. М. Мовшович. – М. : Наука, 1996. – 268 с.
12. Чернавский Д. С. Синергетика и информация. Динамическая теория информации. – М. : Наука, 2001
13. Томашевский В. Н., Жданова Е. Г. Имитационное моделирование в среде GPSS. – М. : Бестселлер, 2003. – 416 с.
14. Луман Н. Введение в системную теорию/ Пер. с нем. К. Тимофеева. // М., 2007
15. Харитоновна А.В. Взаимосвязь адаптации и адаптивного управления [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.uecs.ru>
16. Лавренчук Е. А. Аутопойезис социальных сетей в интернет-пространстве: автореферат дис. ... кандидата философских наук: 09.00.11. Место защиты: Рос. гос. гуманитар. ун-т (РГГУ). – Москва, 2011. – 20 с.
17. Maturana Humberto, Varela Francisco Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living // Boston Studies in the Philosophy of Science / Dordrecht: D. Reidel Publishing Co. – 1980. – Vol. 42.

*А. С. Погромская,*

Николаевский национальный университет имени В. А. Сухомлинского,  
г. Николаев, Украина

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БАЗОВЫХ ПРИНЦИПОВ АУТОПОЙЕЗИСА

*В статье рассмотрены проблемы проектирования сложных систем как актуальной задачи теории системотехники. Рассмотрены особенности информационных процессов в сложных системах и современные подходы учета растущей сложности систем на основе аутопойетичной концепции. Предложен подход моделирования сложных систем на основе определения базовых принципов аутопойезиса.*

**Ключевые слова:** аутопойезис; сложная система; информационная система; модель; проектирование.

**H. S. Pohromska,**  
V. A. Sukhomlinsky Mykolaiv National University,  
Mykolaiv, Ukraine

## **THE COMPLEX SYSTEM MODELING BASED ON THE BASIC PRINCIPLES OF AUTOPOIESIS**

*The paper are considered the problems of complex systems design as an actual task of the systems engineering theory. Features of information processes in the complex systems and contemporary approaches of accounting of growing complexity of systems based on autopoiesis are considered. The approach of complex system modeling based on the main principles of autopoiesis is suggested.*

**Key words:** *autopoiesis; complex system; information system; model; design.*

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. Т. Фісун;**  
д. т. н., проф. **І. І. Коваленко.**

© Погромська Г. С., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 16.11.16*

**Скалозуб В. В.,**

бакалавр,

ovstreltsov@gmail.com

**Ситников В. С.,**

д-р техн. наук, профессор,

sitnvs@mail.ru

**Яковлев Д. П.,**

канд. техн. наук, профессор,

Одесский национальный  
политехнический университет,

г. Одесса, Украина,

e-mail -----

## **ЦИФРОВЫЕ СЕРТИФИКАТЫ ДЛЯ ВЛАДЕЛЬЦЕВ МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ**

*У каждого владельца мобильного телефона записано некоторое количество важной информации на нем, которую тяжело восстановить. Важной задачей является нахождение утерянных аппаратов. В данной статье рассматриваются мобильные устройства с операционной системой Android – смартфоны и др. У всех подобных аппаратов имеются различные идентификационные номера, которые могут быть использованы для нахождения.*

**Ключевые слова:** IMEI; MEID; ESN; IMSI; MAC-Address; Serial Number; Android ID.

**Постановка проблемы.** Система мобильной связи, как и Интернет, являются открытыми (не безопасными) системами, в том смысле, что перехват, модификация сообщений или создание ложных сообщений и т.д. доступны среднему хакеру, не говоря уже о полной доступности информации со стороны провайдеров Интернет или мобильной связи.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Среди авторов, чьи исследования послужили основой написания данной статьи, можно выделить А. Колосову и Д. Намиот. В их статье «Цифровые сертификаты для владельцев мобильных телефонов» в журнале International Journal of Open Information Technologies за 2013 год рассматривается задача подтверждения факта владения мобильным телефоном [3]. Ими предложена модель цифровых сертификатов для мобильных телефонов. В этой модели каждый мобильный пользователь может создать некоторую цифровую метку для своего телефона и подписать ее с помощью ссылки на свой профайл в социальной сети. Далее возможен поиск по базе цифровых сертификатов. Поиск может осуществляться как по идентификации мобильного телефона, так и по профайлам социальной сети (сетей).

**Постановка задачи.** Постановка задачи данной статьи является рассмотрение мобильных устройств с операционной системой Android – смартфонов и др. Анализ модели цифровых сертификатов для мобильных телефонов, предложенной А. Колосовой и Д. Намиот. Изучение введения возможности проверки владельца в момент использования телефона.

**Изложение основного материала.** В настоящее время все более востребованными являются услуги

Мобильного банкинга (М-банкинг, mBanking). Эта система предназначена для: контроля за движением средств по банковскому счету с помощью SMS-сообщений на мобильный телефон или через WAP-протокол; управления банковскими счетами.

Услуги мобильного банкинга широко распространены. Сегодня пользователи М-банкинга в ряде банков могут [2]:

- в любое время суток без посещения банка, отправив SMS-запрос с мобильного телефона, получать информацию о состоянии карточного счета (об остатке денежных средств и последних N транзакциях), о номерах своих счетов, а также о номерах платежных карт к счетам, подключенным к М-банкингу;
- автоматически получать на дисплей мобильного телефона информацию о поступлении и списании средств со счета, обо всех операциях с платежной карточкой, о каждой проведенной операции или авторизации по счету;
- в случае необходимости блокировать карточку, отправив соответствующее SMS-сообщение;
- получать информацию о статусе карточек, подключенных к системе М-банкинг и временно блокировать/разблокировать услуги М-банкинга по этим карточкам.

Исходя из этого перечня, очевидно, что сообщения мобильной связи требуют защиты конфиденциальности (шифрованием) и дополнительно защиты авторства и целостности сообщений (цифровой подписью для того, чтобы сообщения имели юридический статус электронного документа).

Существует несколько различных типов идентификационных номеров для аппаратов с операционной

системой Android. В недавнем прошлом все Android-аппараты обладали сервисами телефонии, поэтому всегда можно было определить уникальный номер IMEI, MEID или ESN. Но сейчас уже существуют Wifi-only аппараты, музыкальные плееры и др. устройства с операционной системой Android, не обладающие сервисами телефонии. У таких устройств тоже можно определить идентификационные номера. Ниже указаны все имеющиеся на данный момент типы идентификационных номеров Android-аппаратов.

IMEI (International Mobile Equipment Identity) – число (обычно 15 – разрядное в десятичном представлении), уникальное для каждого использующего его аппарата. Применяется в сотовых телефонах сетей GSM, WCDMA и IDEN а также в некоторых спутниковых телефонах [7].

IMEI присваивается телефону во время изготовления на заводе. Он служит для идентификации устрой-

ства в сети и хранится в прошивке аппарата. Как правило, IMEI указывается в четырёх местах: в самом аппарате, под аккумуляторной батареей, на упаковке и в гарантийном талоне. IMEI играет роль серийного номера аппарата и передаётся в эфир при авторизации в сети. Также IMEI используется для слежения за аппаратами и блокирования краденых телефонов на уровне оператора сотовой связи, что не позволяет в дальнейшем использовать такой аппарат в сети этого оператора, однако не мешает его использованию в других сетях. Опорная сеть GSM хранит IMEI в EIR.

EIR (Equipment Identity Register) – регистр идентификации абонентского оборудования. Он относится к NSS (Система коммутации) сетей стандартов GSM и UMTS. Представляет собой базу данных с информацией об оборудовании абонентов с указанием: можно ли данному оборудованию зарегистрироваться в сети или нет (рис. 1).

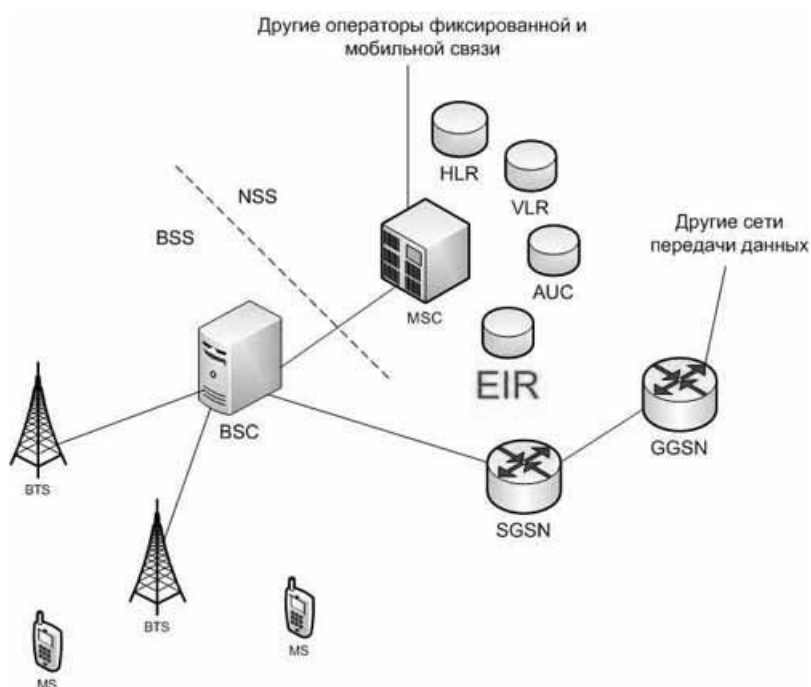


Рис. 1. Идентификация абонентского оборудования (EIR) в составе сети GSM

В отличие от ESN и MEID, используемых в CDMA и прочих сетях, IMEI используется только для идентификации устройства и не имеет постоянного отношения к абоненту. Вместо него используется номер IMSI, хранящийся на SIM-карте, которую можно вставить в практически любой другой аппарат. Однако существуют специальные системы, позволяющие одному телефону использовать только одну определённую SIM-карту.

В EIR хранятся три списка (белый, серый и чёрный) с IMEI (international mobile equipment identity) – идентификаторами оборудования абонентов. Наличие IMEI в белом списке разрешает доступ в сеть безоговорочно. Оборудование из серого списка будет допущено в сеть, но будет непрерывно отслеживаться во время его нахождения в сети. Чёрный список предназначен для хранения IMEI аппаратов, которым в сеть доступ запрещен. Исходя из этого, назначение EIR очевидно: оказать помощь правоохранительным орга-

нам в поиске и отслеживании абонентов и украденного оборудования [6].

Согласно СТБ 1356-2002 «Система сухопутной подвижной цифровой сотовой связи общего пользования GSM 900» система сотовой связи состоит из [4]:

1. Подсистемы коммутации, которая включает:

- центр коммутации подвижных служб, выполняющий функции коммутации вызовов абонентов системы и стационарной сети;
- регистр пользователя – централизованную сетевую базу данных, хранящую информацию обо всех зарегистрированных абонентах сети данного оператора и видах услуг, которые могут быть им оказаны;
- регистр регистрации посетителя – базу данных, хранящую информацию обо всех абонентах, находящихся в данное время в зоне обслуживания центра коммутации подвижных служб;
- центр аутентификации – базу данных, взаимодействующую с регистром пользователя с целью

определения подлинности абонента и недопущения несанкционированного использования сети;

- регистр идентификации оборудования – базу данных, содержащую информацию об оборудовании подвижных станций.

2. Подсистемы базовых станций, которая включает:

- контроллер базовых станций;
- базовые станции, состоящие из приемопередающего оборудования и антенных систем. Базовые станции обеспечивают информационный обмен с подвижными станциями.

3. Подвижных станций, которые состоят из абонентского терминала (именуемого в быту как сотовый телефон) и модуля подлинности абонента (SIM).

4. Подсистемы эксплуатации и обслуживания сети GSM, которая, как правило, включает центр эксплуатации и технического обслуживания – компьютерный центр управления функциями эксплуатации и обслуживания центра коммутации подвижных служб.

Исходя из содержания указанного стандарта IMEI идентифицирует конкретный сотовый телефон в системе сотовой связи аналогично тому, как, например, номер кузова автомобиля идентифицирует автомобиль в системе регистрации автотранспортных средств (при указанной аналогии государственный регистрационный номер автотранспортного средства можно сравнить с SIM-картой) [4].

MEID (Mobile Equipment IDentifier) – глобальный уникальный идентификатор подвижного оборудования, работающий в сетях CDMA, использует тот же базовый формат, что и IMEI [13][5]. MEID был создан на смену ESN [5].

ESN (Electronic Serial Number) – уникальный номер для идентификации CDMA мобильных телефонов [13].

IMSI (International Mobile Subscriber Identity) – международный идентификатор мобильного абонента (индивидуальный номер абонента), ассоциированный с каждым пользователем мобильной связи стандарта GSM, UMTS или CDMA. При регистрации в сети аппарат абонента передает IMSI, по которому происходит его идентификация. Во избежание перехвата, этот номер посылается через сеть настолько редко, насколько это возможно – в тех случаях, когда это возможно, вместо него посылается случайно сгенерированный TMSI [8]. В системе GSM идентификатор содержится на SIM-карте в элементарном файле (EF), имеющем идентификатор 6F07. Формат хранения IMSI на SIM-карте описан ETSI в спецификации GSM 11.11. Кроме того, IMSI используется любой мобильной сетью, соединенной с другими сетями (в частности с CDMA или EVDO) таким же образом, как и в GSM сетях. Этот номер связан либо непосредственно с телефоном, либо с R-UIM картой (аналогом SIM карты GSM в системе CDMA) [8].

Длина IMSI, как правило, составляет 15 цифр, но может быть короче. Например: 250-07-XXXXXXXXXX. Первые три цифры это MCC (Mobile Country Code, мобильный код страны). В примере 250 – Россия. За ним следует MNC (Mobile Network Code, код мобильной сети). 07 из примера –

SMARTS. Код мобильной сети может содержать две цифры по европейскому стандарту или три по североамериканскому. Все последующие цифры – непосредственно идентификатор пользователя MSIN (Mobile Subscriber Identification Number) [2].

MAC-адрес (от англ. Media Access Control – управление доступом к среде, также Hardware Address) – это уникальный идентификатор, присваиваемый каждой единице оборудования компьютерных сетей. Большинство сетевых протоколов канального уровня используют одно из трёх пространств MAC-адресов, управляемых IEEE: MAC-48, EUI-48 и EUI-64. Адреса в каждом из пространств теоретически должны быть глобально уникальными. Не все протоколы используют MAC-адреса, и не все протоколы, использующие MAC-адреса, нуждаются в подобной уникальности этих адресов [2].

В ширококонтрастных сетях (таких, как сети на основе Ethernet) MAC-адрес позволяет уникально идентифицировать каждый узел сети и доставлять данные только этому узлу. Таким образом, MAC-адреса формируют основу сетей на канальном уровне, которую используют протоколы более высокого (сетевого) уровня. Для преобразования MAC-адресов в адреса сетевого уровня и обратно применяются специальные протоколы (например, ARP и RARP в сетях IPv4 и NDP в сетях на основе IPv6) [2]. Адреса вроде MAC-48 наиболее распространены; они используются в таких технологиях, как Ethernet, Token ring, FDDI, WiMAX и др. Они состоят из 48 бит, таким образом, адресное пространство MAC-48 насчитывает 248 (или 281 474 976 710 656) адресов. Согласно подсчётам IEEE, этого запаса адресов хватит по меньшей мере до 2100 года [2]. EUI-48 от MAC-48 отличается лишь семантически: в то время как MAC-48 используется для сетевого оборудования, EUI-48 применяется для других типов аппаратного и программного обеспечения.

Идентификаторы EUI-64 состоят из 64 бит и используются в FireWire, а также в IPv6 в качестве младших 64 бит сетевого адреса узла. Возможно получить MAC-адрес Wi-Fi или Bluetooth оборудования устройства, однако не рекомендуется использовать его в качестве уникального идентификационного номера, так как не все мобильные устройства имеют Wi-Fi. Если Wi-Fi есть он должен быть обязательно включен, иначе MAC-адрес не определится. Кроме того MAC-адрес устройства можно изменить программным путем [2].

Серийный номер можно определить у устройств, не обладающих сервисом телефонии начиная с операционной системы Android 2.3 («Gingerbread») и у некоторых телефонов [13].

Это 64 битный номер, который случайным образом генерируется при первом запуске устройства и остается неизменным далее. У устройств с операционной системой более ранних версий чем 2.2 («Froyo») он может не определяться [13].

С помощью этой системы пользователь может создать сертификат для своего мобильного телефона, подписать его ссылкой на свой профиль в социальной сети и сохранить в базе данных. Если телефон потерян или украден, то в этой базе можно найти контак-

ты владельца. А если он честно подарен, продан и так далее – то можно посмотреть историю владения.

Можно согласиться с мнением Д. Е. Намиот [3], что идея цифровых сертификатов состоит в создании открытой базы данных, где каждый владелец мобильного телефона мог бы сохранить идентифицирующие признаки своего аппарата, заверив (подписав) их ссылкой на собственный профиль в социальной сети. Идея использования ссылки на профайл состоит в том, что в этом случае база данных избегает проблем, связанных с хранением персональной информации. В таком случае ее просто нет. Вся персональная информация остается в социальной сети.

В базе данных сертификатов хранится только открытая ссылка на соответствующий профиль. Соответственно этому, реализация такой модели должна включать в себя мобильное приложение для создания сертификата, базу данных для хранения сертификатов и интерфейс к базе данных для поиска. Важный момент, что такой интерфейс должен включать в себя и программный API.

Владелец телефонного аппарата может бесплатно, по собственной инициативе, добавить сертификат для своего телефона в общую базу. База сертификатов публично доступна. Следовательно, сильно упрощается процесс проверки владельца телефона. А это, в свою очередь, сможет остановить какой-то значимый процент мобильных абонентов от пользования телефоном, который попал к ним не совсем законным способом. Кроме того, такая база может оказаться подспорьем для официального следствия.

Модель цифровых сертификатов состоит в создании открытой базы данных, где каждый владелец мобильного телефона мог бы сохранить идентифицирующие признаки своего аппарата, заверив (подписав) их ссылкой на собственный профайл в социальной сети. Идея использования ссылки на профайл состоит в том, что в этом случае база данных избегает проблем, связанных с хранением персональной информации. В таком случае ее просто нет. Она вся остается в социальной сети. Соответственно этому, реализация такой модели должна включать в себя мобильное приложение для создания сертификата, базу данных для хранения сертификатов и интерфейс к базе данных для поиска [3].

Владелец телефонного аппарата может бесплатно, по собственной инициативе, добавить сертификат для своего телефона в общую базу. База сертификатов публично доступна. Следовательно, сильно упрощается процесс проверки владельца телефона. А это, в свою очередь, сможет остановить какой-то значимый процент мобильных абонентов от пользования телефоном, который попал к ним не совсем законным способом.

Таким образом, общая идея данной модели состоит не в отслеживании потерянного (похищенного) телефона, а во введении возможности проверки владельца телефона в момент использования телефона. При этом, в первую очередь, имеется в виду использование смартфонов в сети Интернет. Самая простая модель использования: приложение во время автори-

зации пользователя в социальной сети может проверить, кому принадлежит данный телефон.

Естественно, что ничто не препятствует и операторам связи использовать ту же самую открытую базу данных для проверки владельцев в момент совершения звонков и отправки SMS.

К примеру, Orange Moldova предоставляет возможность для всех клиентов PrePay и Абонемент, с активированной услугой Мобильной Подписи, обновлять цифровой сертификат, дистанционно: с мобильного телефона, через SMS или по интернету, зайдя на [semnatuiga.orange.md](http://semnatuiga.orange.md). Сертификат может быть обновлен дистанционно, только в течении последних 30 дней действительности текущего сертификата.

Мобильная Подпись работает на основе цифрового сертификата: «Сертификат публичного ключа». Этот сертификат включает в себя ваши идентификационные данные и гарантирует ваш статус владельца Мобильной Подписи, при использовании услуги. В соответствии с законодательством, срок действия сертификата публичного ключа составляет 1 год с даты выпуска.

Формально говоря, цифровой сертификат – это всего лишь открытый ключ, подписанный центром сертификации. Существует еще закрытый ключ, который должен храниться у владельца сертификата. То, что зашифровано с помощью открытого ключа, можно расшифровать исключительно закрытым ключом, и наоборот. Подразумевается, что открытый ключ известен всем, поэтому он так и называется.

Информация, зашифрованная закрытым ключом, может быть расшифрована кем угодно, так как открытый ключ ни от кого не прячется. Однако можно однозначно сказать, что расшифрованная информация исходила только от того, у кого есть закрытый ключ. Это и есть цифровая подпись.

Информация, зашифрованная открытым ключом, может быть расшифрована закрытым ключом, это значит, что прочитает ее только владелец сертификата. А шифровать открытым ключом может кто угодно, так как открытый ключ доступен всем. Это и есть шифрование сообщений.

Цифровые сертификаты выпускает издающий центр сертификации. Если сертификат был скомпрометирован (например владелец сертификата не сберег свой закрытый ключ), то сертификат отзывается. Центр сертификации выпускает и подписывает список отозванных сертификатов CRL (Certificate Revocation List), который потом публикуется на сервере. Ссылка на этот ресурс содержится в каждом выпущенном сертификате, поэтому приложение, использующее сертификаты (например VPN сервер) может загрузить CRL и проверить действительность сертификата.

Для большей защищенности, пара ключей может храниться на специальных смарт-картах (smart card) или USB-ключках (cryptographic token). Из большинства подобных изделий физически невозможно извлечь закрытый ключ, что делает компрометацию закрытого ключа крайне маловероятной.

**Заключение.** Основная идея исследуемой модели состоит не в отслеживании потерянного (похищенно-

го) телефона, а во введених можливостях перевірки владальця телефону в момент використання телефону. При цьому, в першу чергу, має бути в розгляді використання смартфонів в мережі Інтернет. Найпростіший спосіб застосування: застосунок в час

авторизації користувача в соціальній мережі може перевірити, кому саме належить даний телефон. Далішні дослідження можуть бути спрямовані на вивчення і аналіз електронної цифрової підписи для захисту мобільних застосунків.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Namiot D. Geo messages, In Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT) / D. Namiot. // International Congress. – 2010. – №2. – P. 14–19.
2. Namiot D. Network Proximity on Practice: Context-aware Applications and Wi-Fi Proximity / D. Namiot. // International Journal of Open Information Technologies. – 2013. – №1. – P. 1–4.
3. Колесова А., Намиот Д. Цифрові сертифікати для владальців мобільних телефонів / А. Колесова, Д. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. – 2013. – №4. – С. 1–5.
4. Шалькевич В., Макаревич А. Протидія теневої обороту мобільних телефонів кримінальними заходами / В. Шалькевич, А. Макаревич // Законність і правопорядок. – 2008. – № 3(7). – С. 36–40.
5. 3G Mobile Equipment Identifier (MEID) (3GPP2 S.R0048-A Version 4.0 Date: 23 June 2005) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.3gpp2.org/public\\_html/specs/S.R0048-A\\_v4.0\\_050630.pdf](http://www.3gpp2.org/public_html/specs/S.R0048-A_v4.0_050630.pdf).
6. Equipment Identity Register (EIR) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://celnet.ru/EIR.php>.
7. FAQs on mobile security [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.amta.org.au/pages/amta/FAQs.on.mobile.security>.
8. Gaechter F. Chairman of IMSI Oversight Committee [Електронний ресурс] / Fred Gaechter. – 2002. – Режим доступу : [http://www.ifast.org/files/IFAST22\\_015\\_GSMNAletter.pdf](http://www.ifast.org/files/IFAST22_015_GSMNAletter.pdf).
9. GSM Association Non Confidential Official Document IMEI Allocation and Approval Guidelines Version 6.0 (27th July 2011) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.gsma.com/newsroom/wpcontent/uploads/2012/03/ts0660tacallocationprocessapproved.pdf>.
10. GSME proposals regarding mobile theft and IMEI security [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:0mXtXE\\_yM3EJ:www.gsmeurope.org/documents/positions/](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:0mXtXE_yM3EJ:www.gsmeurope.org/documents/positions/).
11. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture // [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802-2014.html>.
12. Re-programming mobile telephone [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2002/31/section/1>.
13. Технічна документація к пристроям Android Samsung [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://developer.samsung.com/android/technical-docs/How-to-retrieve-the-Device-Unique-ID-from-android-device>.

**В. В. Скалозуб,  
В. С. Ситніков,  
Д. П. Яковлев,**

Одеський національний політехнічний університет,  
м. Одеса, Україна

## ЦИФРОВІ СЕРТИФІКАТИ ДЛЯ ВЛАСНИКІВ МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕФОНІВ

*У кожного владальця мобільного телефону записано кілька важливої інформації на ньому, яку важко відновити. Важливим завданням є знаходження загублених апаратів. У статті розглядаються мобільні пристрої з операційною системою Android – смартфони і ін. У всіх подібних апаратів є різні ідентифікаційні номери, які можуть бути використані для знаходження.*

**Ключові слова:** IMEI; MEID; ESN; IMSI; MAC-Address; Serial Number; Android ID.

**V. V. Skalozub,  
V. S. Sytnikov,  
D. P. Yakovlev,**

Odessa National Polytechnic University,  
Odessa, Ukraine

## DIGITAL CERTIFICATES FOR MOBILE PHONE OWNERS

*Every cell phone owner's written a number of important information on it that is hard to restore. An important task is to find the lost phones. This article discusses the mobile devices with the Android oper-*



*ating system – smart phones and other. All of these devices have different identification numbers that can be used to find.*

**Key words:** *IMEI; MEID; ESN; IMSI; MAC-Address; Serial Number; Android ID.*

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. П. Мусієнко**;  
к. т. н., доц. **І. М. Журавська**.

© Скалозуб В. В., Ситников В. С., Яковлев Д. П., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 03.10.16*

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ СВЕРДЛІННЯ**

*Більшість із сучасних свердлильних верстатів не здатні свердлити композитні матеріали (КМ) в автоматичному режимі зберігаючи свердла від поломки. Запропонований ефективний самонавчальний алгоритм здатен керувати комплексом апаратних пристроїв з мінімізацією поломки свердел та відрізняється простотою та адаптивністю.*

**Ключові слова:** свердління; машинне навчання; робототехнічні комплекси; композитні матеріали.

Штучний інтелект є одним з найсучасніших напрямків розвитку науки та технології [1]. На даному етапі розвитку штучного інтелекту розроблено багато алгоритмів машинного навчання, які здатні виконувати складні підрахунки та самостійно приймати рішення в будь-якій сфері діяльності людства [2]. Широке застосування методів машинного навчання показує їх користь та ефективність для автоматизації промислових процесів. Не є винятком і процес автоматизації свердління.

Існують різноманітні робототехнічні комплекси, які здатні виконувати різні виробничі функції, наприклад свердління [3, 4, 5], але головним недоліком є їх запрограмованість на роботу в заданих умовах із певними матеріалами. Такі комплекси мало пристосовані до непередбачених обставин, які, наприклад, виникають при обробці композитних (неоднорідних) матеріалів. Такі матеріали потребують, як правило, особливих режимів свердління [6].

Існують різноманітні методи немеханічної обробки матеріалів, але вони мають ряд обмежень. Електрохімічна обробка може бути застосована для обробки тих матеріалів, які проводять електричний струм [7]. Серед КМ деякі є діелектриками, тому дана задача зазначеними методами не вирішується.

При лазерній обробці може спостерігатися явище деструкції полімерів – руйнування в зоні обробки структури, викликане розкладанням макромолекул під дією тепла, що є технологічним браком.

Найголовніша причина обмеженого застосування немеханічних методів формоутворення отворів, таких як гідравлічна, струменева або електрофізична обробка, полягає в тому, що деякі деталі представляють багатопорову порожнисту конструкцію, зовнішню

стінку якої необхідно зберегти цілими, тобто не допускається свердління наскрізь.

Задача автоматизації свердління композитних матеріалів потребує використання методів машинного навчання для впровадження якого виникає необхідність розробки ефективного самонавчального алгоритму, що здатен керувати комплексом апаратних пристроїв, при цьому мінімізуючи поломку свердел.

Існує декілька способів машинного навчання. Найбільш поширений випадок - навчання з учителем. Для кожного прецеденту при використанні цього способу задається і об'єкт, і відповідь. Передбачається, що алгоритм повинен його мінімізувати. У разі навчання без вчителя, для кожного прецеденту задається тільки об'єкт. При навчанні з підкріпленням роль об'єктів грають пари «ситуація - прийняте рішення» [9,10]. Відповідями є значення функціоналу якості, що характеризує правильність прийнятих рішень (реакцію середовища). Даний підхід використовується при самонавчанні роботів. Активне навчання відрізняється тим, що учень-алгоритм має можливість самостійно призначати наступний об'єкт, на якому стане відома правильна відповідь.

Запропонована реалізація машинного навчання свердлувального робота виконана з використанням електронного стробоскопічного тахометра (вимірює швидкість обертання свердла), лазерного датчика температури (вимірює температуру нагрівання свердла), лазерного датчика відстані (вимірює дистанцію поглиблення свердла в матеріал) та плати керування (ПК) (аналіз даних з датчиків; занесення, зберігання та використання інформації в базі даних).

Після під'єднання обладнання до свердлильного верстата та вмикання живлення, відбувається ініціалі-

зація пристроїв, яка необхідна для того, щоб перевірити під'єднання та справність всіх систем керування. Після ініціалізації у користувача є вибір: розширити базу даних (контрольних параметрів) чи почати працювати з вже існуючою. Якщо користувач обрав розширення бази, то система перемикається на ручний

режим, у ході якого вона аналізує та записує у пам'ять усю необхідну інформацію, тим самим буде працювати по системі «навчання з учителем».

Алгоритм роботи програми розширення бази даних зображений на рис. 1.

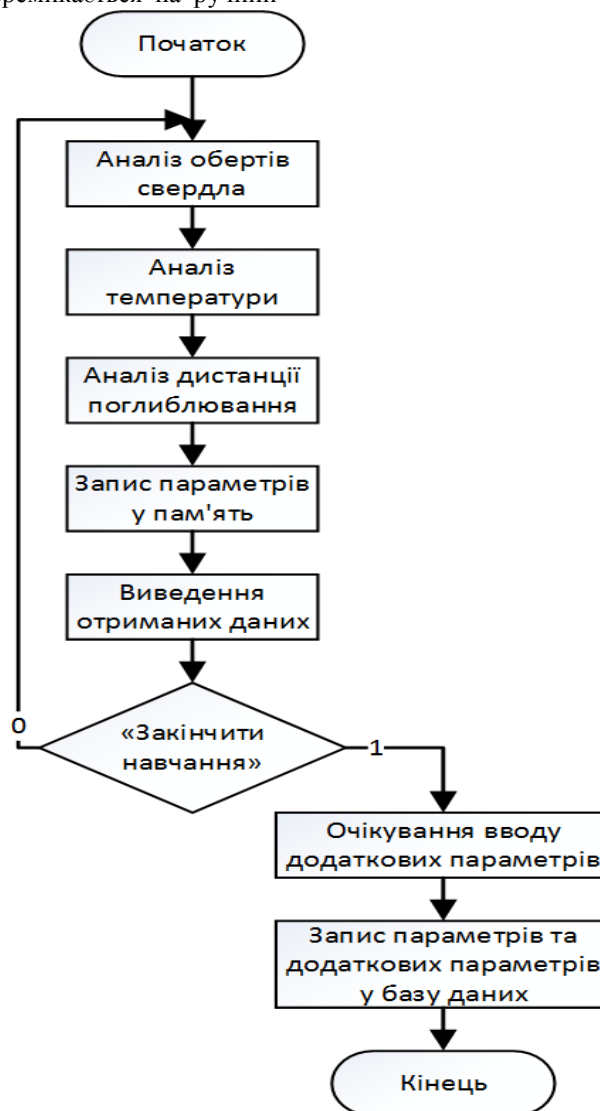


Рис. 1. Алгоритм програми «розширення бази даних»

У режимі розширення людина-експерт виконує усі кроки сама, при цьому програма не втручається, а лише аналізує показники з різних датчиків. Наприклад, потрібно просвердлити багато отворів в різних місцях одного і того ж самого композиту (чи схожих за властивостями). Для цього оптимальніше буде обрати «розширення бази даних». Майстер свердлить лише декілька отворів, після чого перемикає програму в режим «свердління» і може бути впевнений, що інші отвори будуть виконані таким самим чином, як яби він робив би це сам.

Програма аналізує такі дані як: обороти свердла, поточна температура, швидкість його поглиблення в матеріал. Усі дані записуються у пам'ять і виводяться

на дисплей до тих пір, поки майстер не вирішить закінчити навчання. Після цього, майстер вводить додаткові параметри, такі як назва свердла та його діаметр. Це необхідно для того, щоб можна було впорядкувати дані та аналізувати лише ті, які необхідні в даний момент часу.

Оскільки не можливо заздалегідь передбачити усі ситуації, та це і не потрібно, то для прогнозування оптимальних рішень використовується алгоритм навчання багатошарової нейронної мережі методом зворотного поширення помилки [11, с. 290–296].

На рис. 2. зображена багатошарова нейронна мережа з одним шаром прихованих нейронів.

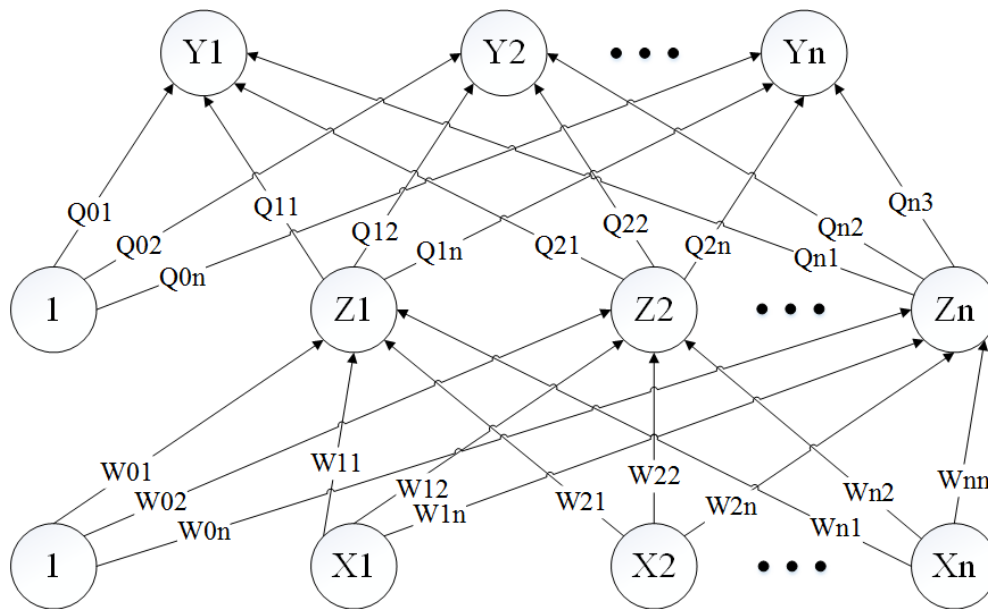


Рис. 2. Мережа з зворотнім поширенням помилки з одним прихованим шаром

Нейрони, що представляють собою виходи мережі (позначені  $Y$ ), і приховані нейрони (позначені  $Z$ ) можуть мати зміщення. Зсув, відповідний виходу  $Y_2$  позначений  $Q_{02}$ , прихованого елементу  $Z_2 - W_{02}$ . Ці зміщення служать в якості ваг на зв'язках, що виходять від нейронів, на виході яких завжди з'являється 1. Крім того, на рис.2 стрілками показано переміщення інформації в ході фази поширення даних від входів до виходів. У процесі навчання сигнали поширюються в зворотному напрямку.

Даний метод дозволяє розпочати процес навчання нейронної мережі при наявності «вчителя», тобто процес навчання відбувається шляхом надання мережі послідовності навчальних прикладів з правильними відповідями. Навчання мережі методом зворотного поширення помилки включає в себе три етапи: подачу на вхід даних, з подальшим поширенням даних в напрямку виходів, обчислення і зворотне поширення відповідної помилки і коригування ваг (враховує помилки). В ході першого етапу кожен вхідний нейрон отримує сигнал і ширококомовно транслює його кожному з прихованих нейронів. Кожен прихований нейрон обчислює результат його активаційної функції (мережеві функції) і розсилає свій сигнал всім вихід-

ним нейронам. Кожен вихідний нейрон, в свою чергу, обчислює результат своєї активаційної функції, який являє собою ніщо інше, як вихідний сигнал даного нейрона для відповідних вхідних даних. У процесі навчання, кожен нейрон на виході мережі порівнює обчислене значення з наданим вчителем (цільовим значенням), визначаючи відповідне значення помилки для даного вхідного шаблону. На підставі цієї помилки обчислюється складова коригування ваг зв'язків, яка використовується при розповсюдженні помилки від до всіх елементів мережі попереднього шару, а також пізніше при зміні ваг зв'язків між вихідними нейронами і прихованими. Аналогічним чином обчислення виконуються для кожного прихованого нейрона. Після того як всі були визначені, відбувається одночасне коригування ваг всіх зв'язків.

Це дозволяє прогнозувати найкращі рішення (параметри) на підставі вже існуючої інформації, тобто з кожним послідуочим свердлінням база даних розширюється (навіть не в режимі навчання), що розширює можливості, збільшує точність та зменшує поломку свердел.

Один з результатів навчання наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

База даних з результатами навчання

№	Назва свердла	Діаметр (мм)	Діапазон			Кількість свердління (разів)	Кількість поломок (%)
			Робоча темпер. (°C)	Оберти (об/хв)	Швидк. поглиб. (см/хв)		
1	Дерево М5	5	63-67	1413-1523	48-53	78	1,28
2	Дерево М5	5	68-71	1413-1523	48-53	53	1,88
3	Дерево М5	5	63-67	1303-1412	46-51	161	1,24
4	Дерево М5	5	63-67	1103-1302	40-43	113	0,88

Групування в базі даних проводиться за призначенням свердла та його діаметром, після чого відбувається групування результатів у діапазони, ширина яких визначається за формулою (1).

$$V_{\text{діап}} = (V_{\text{макс}} - V_{\text{мін}}) / K_{\text{об}} \quad (1)$$

де  $V_{\text{діап}}$  – діапазон швидкості обертів свердла, об/хв.;

$V_{\text{макс}}$  – максимальна швидкість обертів, об/хв.;

$V_{\text{мін}}$  – мінімальна швидкість обертів, об/хв.;

$K_{\text{об}}$  – коефіцієнт ширини діапазону швидкості обертів.

Аналогічно визначається діапазон групування температури (2).

$$T_{\text{діап}} = (T_{\text{макс}} - T_{\text{мін}}) / K_{\text{тем}} \quad (2)$$

де  $T_{\text{діап}}$  – діапазон температури свердла, об/хв.;

$T_{\text{макс}}$  – максимальна температура, об/хв.;

$T_{\text{мін}}$  – мінімальна температура, об/хв.;

$K_{\text{тем}}$  – коефіцієнт ширини діапазону температури.

Початковий вибір свердла та бази навчання залежить від експерта. Після завершення ініціалізації приладу, свердло починає працювати, при цьому уся інформація з датчиків (температура, швидкість обертів та глибина поглиблення) відображається на дисплеї. Якщо свердло починає нагріватись і досягає максимальної температури в тому діапазоні, в якому воно знаходиться, то алгоритм навчання багатопараметричної нейронної мережі методом зворотного поширення помилки знаходить наступні параметри з урахуванням відсотка поломок свердел. Оскільки алгоритм навчання не досконалий, то значення відсотка поломок відображається на дисплеї, що дозволяє оператору припи-

нити свердлення в разі не оптимального прийняття рішення.

Коли закінчиться перший шар і свердло дійде до другого, який, наприклад, товстіший та твердіший, алгоритм змінить параметри свердлення. Як тільки свердло досягне більш твердого шару, перестане поглиблюватись та почне грітись, свердління автоматично зупиниться, проаналізує базу даних та визначить назву свердла яке більше підходить для продовження. Свердління закінчиться, коли датчик відстані зареєструє, що свердло поглибилося на необхідну відстань, інформацію про яку можна побачити також на дисплеї.

Тестування алгоритму виявило, що його тривале використання експертом (який проводив навчання) зменшило поломку свердел приблизно на 3,2 %. Для об'єктивності експерименту, тестування також проводили інші експерти і звичайні люди. Результати дуже відрізняються один від одного, оскільки сильно впливає людський фактор, але кількість свердел, які були поломані в кожному випадку – зменшилась.

Проведене дослідження доводить, що застосування методів машинного навчання для автоматизації свердління композитних матеріалів з використанням нейронних мереж дозволяє зменшити поломку свердел, а також автоматизувати та прискорити роботу станків шляхом накопичення інформації та використання її повторно. Подальші дослідження мають наукову та практичну цінність з метою розвитку та вдосконалення методу додавання інших умов до моделі та ускладненням підрахунків, аналізуючи ще більшу кількість параметрів, таких як вплив деформації гнучких тіл на процес свердлення, що може давати похибку.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект. Современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М. : Вильямс, 2006.
2. Домингос П. Верховный алгоритм: как машинное обучение изменит наш мир – «Манн, Иванов и Фербер» / П. Домингос. – 2015.
3. Stefanos Nikolaidis, KerenGu, RamyaRamakrishnan, and Julie Shah., «Efficient Model Learning for Human-Robot Collaborative Tasks». Portland, Oregon, USA., 03/2015.
4. Tomas Olsson, Mathias Haage, Henrik Kihlman, Rolf Johansson, Klas Nilsson, «Cost-efficient drilling using industrial robots with high-bandwidth force feedback», Pergamon Press, Inc. Tarrytown, NY, USA., 02/2010.
5. Gray T., Orf D., and Adams G. Mobile Automated Robotic Drilling, Inspection, and Fastening. – SAE Technical Paper 2013-01-2338. – 2013.
6. Мелентьев Р. Ю., Натальчишин В. В. Особенности сверления углепластиков, Одес. нац. политехн. ун-т, 2014.
7. Балыков А. В. Адаптивное управление алмазным сверлением неметаллических материалов / А. В. Балыков, Ю. П. Сердобинцев, Л. С. Листунов // Стекло и керамика. – 2007.
8. Золотых Н. Ю. Машинное обучение и анализ данных : [презентация] / Н. Ю. Золотых – 2008.
9. X. Zhu. «Semi-supervised learning literature survey», Technical Report 1530, Computer Sciences, University of Wisconsin-Madison, 09/2005.
10. Гібридні методи машинного навчання в системах керування динамічними об'єктами / А. О. Гришко, С. Г. Удовенко, Л. Е. Чала // Біоніка інтелекту : наук.-техн. журнал. – 2012. – № 1 (78). – С. 78-84.
11. Laurene V. Fausett «Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms And Applications», USA, 1994. – 476 p.

**О. В. Стрельцов,**

**А. М. Качур,**

Одесский национальный политехнический университет,  
г. Одесса, Украина

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ СВЕРЛЕНИЯ**

*Большинство из современных сверлильных станков не способны сверлить композитные материалы (КМ) в автоматическом режиме сохраняя сверла от поломки. Предложенный эффективный самообучаемый алгоритм способен управлять комплексом аппаратных устройств с минимизацией поломки сверл и отличается простотой и адаптивностью.*

**Ключевые слова:** сверление; машинное обучение; робототехнические комплексы; композитные материалы.

**O. V. Streltsov,**

**A. M. Kachur,**

Odessa National Polytechnic University,  
Odessa, Ukraine

## **APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS IN DRILLING AUTOMATION TASKS**

*Most modern drilling machines are not able to drill composite materials (CM) automatically with preservation a drill against breakages. The proposed effective learning algorithm is able to manage complex hardware devices while minimizing damage to drills and differs simplicity and adaptability.*

**Key words:** drilling; machine learning; robotics systems; composite materials.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. Т. Фісун;**  
д. т. н., проф. **А. Н. Хомченко.**

© Стрельцов О. В., Качур О. М., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 09.11.16*

## НАЙБЛИЖЧИЙ ДОМЕННИЙ БЛОК ЯК ОСНОВА ФРАКТАЛЬНОГО СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ

*Запропонована інформаційна технологія для фрактального стиснення зображень. Доменний блок є основою при пошуку відповідності при відтворенні стисненого зображення. Сусідні блоки є ключовими при стисненні.*

**Ключові слова:** інформаційна технологія, переробка інформації, стиснення зображень, відтворення зображень.

**Постановка проблеми.** Проблема пошуку найближчого сусіднього елемента полягає в тому, щоб для даного набору доменних блоків побудувати таку структуру даних, щоб для даного рангового блоку  $R_m$  можна було швидко знайти найближчий до  $R_m$  доменний блок.

Однією з основних складнощів при фрактальному стисненні зображень є розробка ефективного за часом методу зіставлення доменно-рангових областей. На сьогоднішній день розглянуті сучасні підходи щодо підвищення ефективності за часом процесу зіставлення доменних і рангових областей. На основі аналізу існуючих методів прискорення фрактального стиснення зображень зроблений висновок про те, що найбільш перспективним і відповідним для подальшого поліпшення є метод Саупа, який зводить задачу фрактального стиснення до задачі пошуку найближчого сусіднього елемента в багатовимірному метричному просторі.

Передбачимо, що зображення поділене на рангові області, що не перекриваються, розміром  $N \times N$ . Загальні принципи даного підходу можуть бути перенесені і на випадок рангових блоків, що перекриваються. Будемо розглядати кожен ранговий блок як вектор  $R_m$  в лінійному векторному просторі  $\mathfrak{R}^n$ , де  $n = N \times N$ . Перетворення квадратного зображення із стороною квадрата довжиною  $N$  у вектор довжиною  $n = N^2$  можна виконувати, наприклад, рядковим скануванням блоку. Робота з векторами замість двовимірних масивів значно спрощує запис, без втрати повноти розгляду.

У процесі кодування зображення для кожного рангового блоку необхідно виконати пошук по всіх блоках кодової книги. Вектор, що представляє доменний блок, записуватимемо як  $D_k$ . Також розглянемо невелику множину  $p < n$  незалежних від зображення блоків. Представимо їх векторами

$B_1, B_2, \dots, B_p \in \mathfrak{R}^n$ , які вибираються так, щоб скласти ортонормальний базис -  $p$ -розмірного підпростору  $\mathfrak{R}^n$ . Їх також називають фіксованими базисними блоками. Тоді задача кодування рангового блоку може бути виражена як задача знаходження коефіцієнтів найменших квадратів:

$$E(R_m, D_k) = \min_{s, o_j \in \mathbb{R}} \left\| R_m - \left( s \cdot D_k + \sum_{j=1}^p o_j B_j \right) \right\| = \min_{x \in \mathbb{R}^{p+1}} \| R_m - Ax \|$$

де  $A$  - це  $n \times (p+1)$  матриця, колонки якої  $D_k, B_1, B_2, B_p$  та  $x = (s, o_1, o_2, \dots, o_p) \in \mathfrak{R}^{p+1}$  - вектор коефіцієнтів. Дана задача має бути вирішена для всіх доменних блоків  $D_k$ , і блок, який дає най-

менше значення помилки  $\left\| R_m - \left( s \cdot D_k + \sum_{j=1}^p o_j B_j \right) \right\|$

вибирається за умови, що значення  $s$  для даного блоку забезпечує збіжність процесу декодування (тобто  $|s| < 1$ ). Ця умова може бути усунена, якщо використовувати ортогональне представлення Оейна.

Спіраючись на вищевикладене, таким чином, час обробки одного запиту на пошук відповідного доменного блоку для даного рангового блоку визначається кількістю операцій обчислення функції відстані  $d(R_m^\perp, D_k^\perp)$  між проєкціями рангового і доменного блоків, і кількістю операцій обчислення хеш-функції  $g_i(D_k^\perp)$ . Спільне число запитів дорівнює кількості рангових блоків. Таким чином, досягається сублінійний час обробки одного запиту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі Р. Indyk та R. Motwani [3] представлена методика вирішення задачі  $(R, c) - NN$  наближеного пошуку найближчого сусіднього елемента, заснована

на просторово-чутливому хешуванні (LSH— locality sensitive hashing). Автори LSH пропонують використати просторове хешування організації пошуку в додатках баз даних, розпізнаванні образів, пошуку в архівах документів. У даній статті пропонується застосувати просторово-чутливе хешування для організації пошуку найближчого сусіднього елемента при фрактальному кодуванні зображень.

Розглянемо коротко основну ідею просторово-чутливого хешування. Для домена  $S$ , що є множиною точок з мірою відстані  $D$ , сімейство LSH функцій визначено як:

*Визначення* [3]: Множина функцій  $H = \{h : S \rightarrow U\}$  називається  $(r_1, r_2, p_1, p_2)$ -чутливою для  $D$ , якщо для кожного  $v, q \in S$  виконується:

якщо  $v \in B(q, r_1)$ , то  $\Pr_H[h(q) = h(v)] \geq p_1$

якщо  $v \notin B(q, r_2)$ , то  $\Pr_H[h(q) = h(v)] \leq p_2$

де  $B(x, r)$  — гіперсфера радіусом  $r$  із центром у точці  $x$ .

Для того, щоб просторово-чутлива функція хешування була корисною з погляду її застосування до фрактального стиснення зображень, вона повинна задовольняти нерівностям  $p_1 > p_2$  та  $r_1 < r_2$ .

Покажемо, як просторово-чутливі функції можуть бути використані для вирішення  $(R, c) - NN$  задачі при фрактальному кодуванні: виберемо  $r_1 = R$  та  $r_2 = cR$ . Для даного сімейства  $H$  хеш-функцій з параметрами  $(r_1, r_2, p_1, p_2)$  як у визначенні вище, збільшимо розрив між «високою» імовірністю  $p_1$  й «низькою» імовірністю  $p_2$  шляхом з'єднання декількох функцій. Зокрема, для параметра  $k$ , визначеного нижче, визначимо сімейство функцій  $\psi = \{g : S \rightarrow U^k\}$  так, що  $g(v) = (h_1(v), \dots, h_k(v))$ , де  $h_i \in H$ . Для цілого числа  $L$  виберемо  $L$  функцій  $g_1, \dots, g_L \in \psi$ , незалежно й рівномірно, випадковим чином. Під час кроку попередніх обчислень, збережемо кожний  $v \in P$  (набір доменних областей) у множині  $g_j(v)$ , для  $j = 1, \dots, L$ . Так як загальне число таких множин може бути великим, залишимо тільки непусті множини шляхом повернення до класичного хешування. Для того, щоб обробити рангову область  $q$ , зробимо пошук серед всіх множин  $g_1(q), \dots, g_L(q)$ . Оскільки можливо (хоча й малоймовірно) що загальна кількість доменів, збережених у цих множинах, є великою, то пошук домену переривається після знаходження  $3L$  елементів (включаючи дублікати). Нехай  $v_1, \dots, v_l$  — знайдені елементи. Для кожного домену  $v_j$ , якщо  $v_j \in B(q, r_2)$ , повертаємо відповідь ТАК (тобто даний домен є потенційним ка-

ндидатом побудови перетворення в рангову область  $q$ ), інакше повертаємо НІ.

Алгоритм фрактального кодування за допомогою просторово-чутливого хешування (FracLSH) складається із двох частин: на етапі попередніх обчислень для всіх векторів, що представляють доменні блоки, обчислюється їх ортонормована проекція  $p_j = \phi(D_j)$  на ортодоповнення  $\mathfrak{S}^\perp$ . І, далі, для отриманих точок  $p_j \in R^n \setminus \mathfrak{S}$  обчислюються й зберігаються значення хеш-функцій  $g_i(p_j)$ .

На етапі пошуку доменно-рангових відповідей для даної рангової області обчислюється ортонормована проекція  $q_j = \phi(R_j)$  ортодоповнення  $\mathfrak{S}^\perp$ . Обчислюється значення хеш-функцій і виконується лінійний пошук у таблицях хеш-функцій доменних блоків, обчислених раніше.

Завдяки властивостям просторово-чутливих хеш-функцій при збігу хеш-значень для рангового й доменного векторів існує дуже висока ймовірність того, що дані вектори знаходяться близько один до одного в заданому метричному просторі. Для  $K$  знайдених доменних блоків-кандидатів виконується обчислення помилки  $E(D, R)$  по формулі (1) і вибирається найбільш відповідний блок. Таким чином, ми уникаємо необхідності вирішувати задачу методом найменших квадратів для кожної пари доменно-рангового блоку, а відбираємо декілька кандидатів, які з великою ймовірністю дадуть близький до оптимального розв'язок. Цим і досягається істотне підвищення часової ефективності алгоритму.

**Викладення основного матеріалу.** Етап пошуку доменно-рангових відповідей є найбільш трудомісткою операцією при фрактальному кодуванні зображень. При класичному підході для всіх можливих комбінацій доменних і рангових областей потрібно вирішити задачу пошуку оптимальних коефіцієнтів методом найменших квадратів і вибрати кращий варіант. І, хоча такий метод дає найкращий розв'язок, його часова ефективність є непринятною із практичної точки зору. Однак, задачу фрактального кодування зображень можна звести до задачі пошуку найближчого сусіднього елемента в багатомірному просторі. У свою чергу, наблизений розв'язок задачі пошуку найближчого сусіднього може бути ефективно знайдений з використанням просторово-чутливого хешування. У статті розглянутий підхід до побудови алгоритмів, що реалізують фрактальне стиснення шляхом комбінації цих двох ідей.

**Зведення задачі фрактального стиснення зображень до задачі пошуку найближчого сусіднього елемента в багатомірному просторі.** Викладемо коротко ідею D. Saure [1], що дозволяє відійти від повного перебору всіх комбінацій доменних і рангових областей та, шляхом відносно ефективної предобробки, звести задачу до пошуку найближчого сусіднього елемента в багатомірному метричному просторі.



Припустимо, що зображення розділене на рангові області, що не перекриваються, розміром  $N \times N$ , і доменні області вдвічі більшого розміру. Будемо розглядати кожен ранговий блок як вектор  $R$  у лінійному векторному просторі  $R^n$ , де  $n = N \times N$ . Перетворення квадратного зображення зі стороною квадрата довжиною  $N$  у вектор довжиною  $n = N^2$  можна виконувати, наприклад, порядковим скануванням блоку. Робота з векторами замість 2-х мірних масивів значно спрощує запис, без втрати спільності розгляду.

В процесі кодування зображення для кожного рангового блоку необхідно виконати пошук по всіх блоках кодової книги. Вектор, що представляє доменний блок, будемо записувати як  $D$ . Також будемо розглядати невелику множину  $p < n$  незалежних від зображення блоків. Представимо їхніми векторами  $B_1, B_2, \dots, B_p \in R^n$ , які вибираються таким чином, щоб скласти ортонормований базис  $p$ -розмірного підпростору  $R^n$ . Їх також називають фіксованими базисними блоками. Тоді задача кодування рангового блоку може бути виражена як задача знаходження коефіцієнтів найменших квадратів [1]:

$$E(R, D) = \min_{a, b_k \in R} \left\| R - (a \cdot D + \sum_{k=1}^p b_k B_k) \right\| = \min_{x \in R^{p+1}} \|R - Ax\| \quad (1)$$

де  $A$  — це  $n \times (p+1)$  матриця, колонки якої є вектора  $D, B_1, B_2, \dots, B_p$ , а  $x = (a, b_1, b_2, \dots, b_p) \in R^{p+1}$  — вектор коефіцієнтів.

Дана задача повинна бути вирішена для всіх доменних блоків  $D$  і блок, що дає найменше значення помилки  $E(D, R)$ , вибирається за умови, що значення  $a$  для даного блоку забезпечує збіжність процесу декодування (тобто  $|a| < 1$ ).

Нехай  $P$  — ортогональний оператор, що проектує  $R^n$  в підпростір  $\mathfrak{Z}$  з базисом  $B_1, B_2, \dots, B_p$ . Ранговий блок  $R$  має унікальне розкладання  $R = OR + PR$ , де оператор  $O = I - P$  проектує свій операнд на ортодоповнення  $\mathfrak{Z}^\perp$ . Для  $Z = (z_1, \dots, z_n) \in R^n \setminus \mathfrak{Z}$ , визначимо оператор

$$\phi(Z) = \frac{OZ}{\|OZ\|}.$$

Для даних позначень базовий результат, отриманий Saure в [1] виглядає наступним чином:

$$E(D, R) = \langle R, \phi(R) \rangle \sqrt{1 - \langle \phi(D), \phi(R) \rangle^2}.$$

Таким чином, задача про мінімізацію помилки  $E(D, R)$  серед доменних блоків  $D$  може розглядатися з погляду кутового критерію: мінімум  $E(D, R)$  досягається тоді, коли скалярний добуток векторів максимальний, тому що:

$$\langle \phi(D), \phi(R) \rangle^2 = \cos^2 \angle(\phi(D), \phi(R)).$$

А це означає необхідність мінімізації кута  $\angle(\phi(D), \phi(R))$ , або, еквівалентно,  $\angle(OD, OR)$ . Таким чином, задача фрактального кодування зображення зводиться до задачі пошуку найближчого сусіднього до даного рангового доменного вектора в лінійному просторі  $R^n \setminus \mathfrak{Z}$ .

Стійкі розподіли визначаються як границі нормалізованих сум незалежних рівномірно розподілених випадкових змінних (нижче дано альтернативне визначення). Найбільш відомий приклад стійкого розподілу - це нормальний (гаусовий) розподіл. Проте, клас таких розподілів є значно ширшим. Розподіл  $\mu$  над  $\mathfrak{R}$  називається  $p$ -стійким, якщо існує  $p \geq 0$  таке, що для будь-яких  $d$ , дійсних чисел  $v_1, \dots, v_d$  та змінних  $X_1, \dots, X_d$  з розподілом  $\mu$ , випадкова змінна  $\sum_i v_i X_i$  має такий же розподіл, як і змінна  $(\sum_i |v_i|^p)^{1/p} X$  де  $X$  - випадкова змінна з розподілом  $\mu$ .

Відомо, що стійкі розподіли існують для будь-якого  $p \in (0, 2]$ . Зокрема, гаусовий (нормальний) розподіл  $\mu_G$ , визначений як функція щільності вірогідності

$$g(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2},$$

є 2-стійким.

Зауважимо, що з практичної точки зору, не дивлячись на недолік закритих форм функцій розподілу щільності, відомо, що можна створити  $p$ -стійку випадкову змінну з двох незалежних випадкових змінних, рівномірно розподілених на інтервалі  $[0, 1]$ .

Використовуючи  $p$ -стійкі розподіли, побудуємо сімейство хеш-функцій  $H$ , адаптоване до фрактального стиснення зображень. Інтуїтивно, сімейство хеш-функцій має бути просторово-чутливим, тобто якщо два вектори  $R_m^\perp, D_k^\perp$  близькі один до одного (значення  $\|R_m^\perp - D_k^\perp\|_p$  відносно невелике), то вони повинні з великою вірогідністю викликати колізію (мати одне і те ж значення хеш-функції) і, якщо вони розташовані далеко один від одного, то вірогідність колізії має бути мала. Нехай  $a$  - вектор розмірності  $d$ , елементи якого вибираються незалежно з  $p$ -стійкого розподілу. Скалярний добуток  $\langle a, R_m^\perp \rangle$  проектує кожен вектор на множину дійсних чисел. З  $p$ -стійкості випливає, що для двох векторів  $R_m^\perp, D_k^\perp$  відстань між їх проєкціями  $\left| \langle a, R_m^\perp \rangle - \langle a, D_k^\perp \rangle \right|$  розподілено як  $\|R_m^\perp - D_k^\perp\|_p X$ , де  $X$  - це випадкова

змінна, що вибрана з  $p$ -стійкого розподілу. Якщо «розділити» множину дійсних чисел на підмножини рівного розміру  $r$  та визначити значення хеш-функції для вектора залежно від того, на яку підмножину він проектується, то інтуїтивно ясно, що така хеш-функція буде просторово чутлива в описаному вище сенсі.

Формально, кожна хеш-функція  $h_{a,b}(v): \mathbb{R}^d \rightarrow N$  відображує вектор  $v$  розмірності  $d$  (проекція рангового  $R_m^\perp$  або доменного блоку  $D_k^\perp$ ) на множину цілих чисел. Кожна хеш-функція в сімействі однозначно визначається вибором випадкового вектора  $a$ , визначеного вище, і дійсного числа  $b$ , вибраного випадковим чином з діапазону  $[0, r]$ . Для даних  $a, b$  визначимо хеш-функцію  $h_{a,b}$  таким чином:

$$h_{a,b}(v) = \left\lfloor \frac{\langle a, v \rangle + b}{r} \right\rfloor \quad (2)$$

Тепер обчислимо вірогідність колізії хеш-функції, вибраної випадково згідно описаним вище міркуванням, для двох векторів  $R_m^\perp, D_k^\perp$ . Нехай  $f_p(t)$  позначає щільність вірогідності абсолютного значення  $p$ -стійкого розподілу. Для двох векторів  $R_m^\perp, D_k^\perp$  Нехай  $c = \left\| R_m^\perp - D_k^\perp \right\|_p$ . Для випадково вибраного вектора  $a$ , елементи якого узяті з  $p$ -стійкого розподілу,  $\left| \langle a, R_m^\perp \rangle - \langle a, D_k^\perp \rangle \right|$  розподілене як  $cX$ , де  $X$  – ви-

падкова змінна, вибрана з  $p$ -стійкого розподілу. Оскільки  $b$  вибране випадково з діапазону  $[0, r]$ , легко побачити, що

$$p(c) = \Pr_{a,b} \left[ h_{a,b}(R_m^\perp) = h_{a,b}(D_k^\perp) \right] = \int_0^r \frac{1}{c} f_p \left( \frac{t}{c} \right) \left( 1 - \frac{t}{r} \right) dt$$

Для фіксованого параметра  $r$  вірогідність колізії монотонно зменшується із зростанням  $c = \left\| R_m^\perp - D_k^\perp \right\|_p$ . Згідно визначення, що було дане на початку параграфа, сімейство хеш-функцій  $h_{a,b}(v) \in (r_1, r_2, p_1, p_2)$ -чутливим для  $p_1 = p(1)$  та  $p_2 = p(c)$  при  $r_2 / r_1 = c$ .

Параметр  $r$  не був чітко визначений, оскільки він залежить від значень  $c$  та  $p$ . Для кожного даного  $c$  задача полягає у виборі такого кінцевого значення  $r$ , яке робить  $\rho$  якомога меншим.

**Висновки.** У даній роботі представлений ефективний алгоритм фрактального стиснення, що дозволяє значно збільшити часову ефективність кодування зображень. Експерименти показують, що запропонована схема має більш високі характеристики в порівнянні із традиційними схемами фрактального стиснення, і може успішно конкурувати із кращими сучасними алгоритмами в даній області.

Очевидно, даний метод може застосовуватися в комбінації із квадро-деревом й іншими схемами розбивки зображення, що відкриває шляхи подальшого збільшення продуктивності і якості відновленого зображення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Saupé. D. Accelerating fractal image compression by multi-dimensional nearest neighbor search / Proceedings DCC'95 Data Compression Conference. – IEEE Soc. Press, March 1995.
2. Datar M., Immorlica N., Indyk P., Mirrokni V. S. Locality-Sensitive Hashing Scheme Based on  $p$ -Stable Distributions / Symposium on Computational Geometry. – 2004.
3. Indyk P., Motwani R. Approximate nearest neighbor: towards removing the curse of dimensionality / Proceedings of the Symposium on Theory of Computing. – 1998.
4. Хіміченко І.В. Підхід до фрактального стиснення зображень з використанням просторово-чутливого хешування як методу підвищення часової ефективності при фрактальному стисненні / САИТ, XI международная научно-техническая конференция УНК ИПСА НТУУ «КПИ», 2009
5. Хіміченко І.В. Роль пошуку найближчого сусіднього елемента при фрактальному стисненні зображень / ИАИ, IX международная научная конференция, НТУУ «КПИ», 2009

**И. В. Химиченко,**  
компания GeeksForLess,  
г. Николаев, Украина

## БЛИЖАЙШИЙ ДОМЕННЫЙ БЛОК КАК ОСНОВА ФРАКТАЛЬНОГО СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Предложена информационная технология сжатия изображений. Доменный блок является основой фрактального сжатия изображений при поиске соответствия распаковки изображений. Соседние блоки являются ключевыми для сжатия.*

*Ключевые слова:* информационная технология; переработка информации; сжатие и распаковка изображения.

**I. V. Khimichenko,**  
GeeksForLess company,  
Mykolaiv, Ukraine

## NEAREST DOMAIN BLOCK AS A ROOT OF FRACTAL IMAGE COMPRESSION

*Using domain block for issuing of fractal image compression. Nearest blocks are taking crucial role in fractal image compression. Hash functions need to be used in case of compression process. The problem of finding the nearest neighbor element is that for a given set of domain blocks to build a structure data to range for this range  $R_m$  could quickly find the nearest to  $R_m$  domain block. Due to the properties of space-sensitive hash functions at the confluence of the hash values for the range and domain vectors there is a very high probability that these vectors are close to each other in a given metric space. For domain blocks found candidate performed the calculation error and select the most appropriate block. Thus, we avoid the need to solve the problem by least squares for each pair of domain-range blocks, we select a few candidates who are likely to give close to optimum solution. This is achieved by significantly increasing time efficiency of the algorithm. Search of domain-range matching is the most time consuming operation in fractal image coding. In the classical approach to all possible combinations of domain and range areas need to solve the problem of finding optimal coefficients by least squares and choose the best option. And, although this method gives the best solution, its temporal efficiency is unacceptable from a practical point of view. However, the problem of fractal image coding can be reduced to the problem of finding the nearest neighboring elements in the multidimensional space. In the article the approach to the construction of algorithms that implement the fractal compression by a combination of the two ideas.*

**Key words:** information technology; data processing; fractal image compression.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. Т. Фісун;**  
д. т. н., проф. **А. Н. Хомченко.**

© Хіміченко І. В., 2016

Дата надходження статті до редколегії 08.11.16

**Стрельцов О. В.,**канд. техн. наук,  
доцент кафедры комп'ютерних систем,  
ovstreltsov@gmail.com**Войтов В. М.,**бакалавр кафедры комп'ютерних систем,  
Одеський національний  
політехнічний університет,  
м. Одеса, Україна,  
baksy93@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ

*Розробки в області біометричної автентифікації за клавіатурним почерком мають ряд переваг і недоліків, для скасування яких був запропонований метод автентифікації з використанням властивостей комп'ютерної логіки, спрямованої на усунення математичної обробки даних у системах парольної автентифікації. За рахунок створеного алгоритму можлива авторизація користувачів з невираженим клавіатурним почерком і низьким навиком володіння клавіатурою. Використання даного методу в пристроях з різними способами введення даних дозволяє мінімізувати ймовірність виникнення помилок як першого, так і другого роду.*

**Ключові слова:** *клавіатурний почерк; біометрична автентифікація; приховані системи моніторингу клавіатурного почерку; аналіз алгоритмів біометричної автентифікації; аналіз методів біометричної автентифікації; біометричні системи контролю доступу.*

За последние четверть века благодаря развитию науки и технологий большинство людей обзавелись умными электронными устройствами и пользуются ими ежедневно для общения, поиска информации, торговли, банковских и прочих операций. Каждый из пользователей подобных устройств несколько раз в день сталкивается с процедурой идентификации, которая является обязательным первичным этапом получения доступа к какой-либо современной компьютерной системе, после неё осуществляется аутентификация и авторизация. Одним из элементов подобных систем является подсистема управления доступом к информационным ресурсам, которая дает возможность разграничить доступ круга пользователей, имеющих доступ к информации и предотвратить сбои в работе информационной системы в целом.

Существует множество методов идентификации и аутентификации, которые отличаются своей сложностью, надежностью, стоимостью и другими показателями. Традиционные методы основываются на использовании электронных ключей, карт, паролей и кодов доступа. После получения данных от пользователя они сравниваются с данными, которые находятся в специальной защищенной базе данных и, в случае успешной аутентификации, проводят авторизацию с последующим допуском пользователя к работе в системе. Основной недостаток таких методов идентификации и аутентификации обусловлен неоднозначностью идентифицируемой личности. Прежде всего,

это связано с тем, что для установления аутентичности личности используют атрибутивные и основанные на знаниях распознавательные характеристики. Другим важным недостатком традиционных методов идентификации и аутентификации является отсутствие возможности обнаружения подмены идентифицированного пользователя, что дает возможность злоумышленнику получить доступ к ресурсам системы, который ограничен лишь правами идентифицированного пользователя [1]. Вышеперечисленные недочеты можно исправить, дополнив систему защиты методами биометрической аутентификации, которая заключается в распознавании человека по его уникальным физиологическим или поведенческим характеристикам. Все методы биометрической идентификации и аутентификации разделяются на статические и динамические. Статические методы основываются на физиологической характеристике человека, т.е. уникальной особенности, врожденной и неотъемной (рисунок сетчатки и радужной оболочки глаза, отпечатки пальцев, геометрия руки). Динамические методы основываются на поведенческой (динамической) характеристике человека, т.е. учитывают особенности, характерные для подсознательных движений в процессе какого-либо действия. Среди этих методов биометрической аутентификации значительный интерес вызывают методы аутентификации по динамическому почерку человека и клавиатурному (компьютерному) почерку в связи с их доступностью и отсутствием

необходимости приобретения дополнительных устройств ввода.

Клавиатурный почерк – это совокупность индивидуальных характеристик, определяющих особенность работы пользователя в режиме ввода текста с клавиатуры. Надёжность такой системы напрямую зависит от того, сколько пальцев использует пользователь при наборе текста, его скорость набора, использование дополнительных клавиш и т.п.

Несмотря на значительный интерес к системам биометрической аутентификации по клавиатурному почерку, эти системы характеризуются низкой точностью аутентификации личности. С целью определения причин, которые влияют на низкую точность, на рис. 1 приведены основные этапы разработки и создания систем биометрической аутентификации по клавиатурному почерку [5].



Рис. 1. Этапы разработки и создания системы биометрической аутентификации по клавиатурному почерку

Первым этапом проектирования систем биометрической аутентификации по клавиатурному почерку является создание математических моделей, которые бы адекватно отображали важные показания, стороны временной структуры данных, которые приходят от клавиатуры. Математическая модель задаёт потенциал и, по большей части, эффективность созданных информационных технологий, обуславливает структуру программной и аппаратной составляющих проектирующейся информационной системы. От качества математической модели данных существенно зависит точность и достоверность методов их обработки системой биометрической аутентификации, уровень информативности аутентификационных и идентификационных свойств, достоверность принятия решений [2].

Из приведённого анализа, основной причиной низкой точности систем биометрической аутентификации по клавиатурному почерку является недостаточная эффективность соответствующего математического обеспечения. Учитывая вышеупомянутый вывод, проведем сравнительный анализ существующих математических моделей, методов и систем аутентификации по клавиатурному почерку с целью обнаружения основных недостатков.

Прежде всего, стоит сказать, что разные математические модели, методы и системы биометрической аутентификации по клавиатурному почерку отличаются использованием и назначением. Во-первых, клавиатурный почерк может рассматриваться как средство мониторинга психофизического состояния оператора ЭВМ. В этом случае предложен подход по построению подсистемы, основанный на математической модели биометрической обработки клавиатурного почерка, на математической модели определения психофизического состояния и алгоритме принятия решения по оповещению оператора, принимающего решение [2]. Для решения этой задачи выбирается математический аппарат обработки биометрических данных нейронными сетями.

Разработан и реализован полигауссовский алгоритм аутентификации пользователей по клавиатурному почерку с целью повышения достоверности аутентификации, который тоже даёт возможность отследить психофизическое состояние человека [3]. При использовании данного алгоритма параметры клавиатурного почерка систематизируются и для повышения достоверности аутентификации пользователей вводится новый параметр – скорость нажатия клавиш. Так же разработан способ вычисления скорости движения клавиш во время набора пользователем символов на клавиатуре, где скорость движения клавиш представляется как процесс изменения ёмкости контактной пары клавиш во времени. Проведено исследование стандартных плёночных клавиатур и получено значение ёмкостей контактных пар клавиш, а также решена проблема паразитных составляющих за счет интегрированного способа измерения ёмкости. Данный метод и полигауссовский алгоритм позволяют повысить коэффициент достоверности аутентификации до уровня 95 %. Преимуществом такого направления аутентификации по клавиатурному почерку является возможность определения адекватного психофизиологического состояния человека. Однако, высокая точность аутентификации в данном методе не достигнута т.к. используется только отклонение от нормального значения временных характеристик клавиатурного почерка. Кроме того, принято во внимание, что с разработкой новых материалов, которые будут использоваться для изготовления компьютерных клавиатур, временные характеристики компьютерного почерка будут изменяться, и, в следствии, будут изменяться временные характеристики компьютерного почерка, что приведет к изменению класса точности системы биометрической аутентификации в целом т.к. скорость нажатия клавиш не будет постоянной.

Предложен метод формирования и коррекции баз биометрических эталонов пользователей разделённых информационных систем по поведенческим характе-

ридикам, что дает возможность упростить реализацию процедур анализа биометрических профилей и учесть возможность изменения поведенческих характеристик пользователей [4]. Данные методы идентификации пользователей по клавиатурному почерку по стилю работы с использованием теории нечётких множеств позволяют учесть неопределенности, характерные для этапа формирования поточных биометрических профилей пользователей.

В ряде случаев используется парольный метод аутентификации с использованием усиленного метода биометрической аутентификации на основе параметрического обучения классификатора [5]. Вектор биометрических характеристик определяется при помощи обработки полученных от пользователя данных с использованием вычисления математических ожиданий параметров полученных векторов и последующего вычисления элементов ковариационной матрицы. После чего определяется дискриминантная функция и оптимальный коэффициент Стьюдента, определяющий величину допуска, полученного экспериментальным методом для  $N$  пользователей, проводящих тестирование метода.

Используется также метод биометрической аутентификации пользователя по клавиатурному почерку на основе разложения Хаара и меры близости Хэмминга [6]. Количество членов разложения ряда Фурье определяет погрешность данного метода, исходя из чего, предлагается подбирать максимальную длину пароля на этапе экспериментального исследования. Результат разложения вектора в ряд Фурье является недостаточно оптимальным по ряду причин, поэтому предлагается использовать функции Хаара, которые образуют ортонормированную, периодическую, полную систему непарных функций, обладающих свойством и локальной и глобальной чувствительности. После дискретизации по времени полученной от пользователя функции и ее преобразования на основе разложения Хаара определяется искомым вектор биометрических параметров. Предложенный метод рассчитан на максимальную длину парольной фразы для уменьшения погрешности при вводе, является гибким и точность данного метода определяется числом коэффициентов разложения, зависящих от длины парольной фразы.

Существует метод гистограммного распознавания клавиатурного почерка [7]. Предложено формировать вектор биометрических характеристик на основании длительности событий удержаний и пауз путём преобразования их в  $g$ -мерный вектор биометрических параметров. Для обучающей выборки определяется диапазон изменения каждого из компонентов и приводится к началу координат. Они, в свою очередь, определяют координаты приведенной  $g$ -мерной области распределения векторов. После разбиения области на подобласти строится оценка плотности векторов и проводится сравнение с плотностью распределения векторов обучающей выборки по закону, основанному на формировании отношения правдоподобия. К преимуществам данного метода можно отнести его простоту и ясный физический смысл, к недостаткам – отсутствие оптимального способа разбиения области

на подобласти, невозможность достижения сходимости при увеличении объема обучающей выборки, необходимость неоднократного ввода парольной фразы для создания необходимого количества векторов биометрических данных для проведения аутентификации.

Наибольший интерес представляют методы и математические модели скрытого клавиатурного мониторинга с длительным использованием клавиатуры. Одной из последних разработок биометрической аутентификации по клавиатурному почерку является метод основанный на использовании аппарата теории вероятностей и математической статистики для оценивания математического ожидания и времени удержания клавиш как характеристики клавиатурного почерка оператора [8]. Предложен метод распознавания клавиатурного почерка по вводу свободного текста в основании механизма анализа клавиатурного ввода данных. Данный метод реализован в алгоритме распознавания клавиатурного почерка по времени удержания клавиш и времени введения часто употребляемых в письме последовательностей букв ( $N$ -грамм). Разработанная система аутентификации оператора системы информационной инфраструктуры имеет точность 98 %, если количество операторов, зарегистрированных в системе, равняется 100. Также доказано, что в связи с использованием метода определения клавиатурного почерка в основе учёта времени удержания клавиш, становится возможным определение клавиатурного почерка по свободному тексту. Метод не учитывает промежуток времени между нажатием клавиш, который иногда увеличивает точность определения, в связи с перекрытием соседних клавиш.

Предлагаемый метод основан на элементах клавиатурного почерка, однако вместо математического аппарата использована компьютерная логика, что позволяет избавиться от ряда недостатков, которые присутствуют в предыдущих методах, позволяя увеличить эффективность системы аутентификации как среди уверенных пользователей клавиатуры, так и среди новичков.

При регистрации пользователя сопровождается аудио/световой сигнал с  $t_k=250\text{мс}-1000\text{мс}$  (определяется программой), позволяющий корректировать время нажатия клавиш. Каждые 250мс-1000мс программа регистрирует данные о нажатии/отпуске клавиш и на их основе создается вектор параметров. Максимальное количество одновременно нажатых клавиш, количество изменений статуса нажатых клавиш, используемые клавиши для каждого пользователя являются их личными биометрическими характеристиками. В зависимости от предельных показателей вышеупомянутых характеристик определяется время  $t_k$ , задающее временной промежуток для пользователя в зависимости от его навыков работы на клавиатуре. Вводится парольная фраза/комбинация клавиш, известная пользователю. Каждый промежуток времени  $t_k$  регистрируется информация о нажатых и отпущенных клавишах в виде массива массивов. Учитывается порядок нажатия и отпущения клавиш, а также промежутки, в которых они были нажаты.

Если пользователь не смог N раз повторить фразу при регистрации, ему предлагается её упростить, если максимальное значение  $t_k$  достигнуто. После успешного прохождения регистрации программа предлагает пользователю авторизироваться и продолжить работу.

Пример: простая парольная фраза «QWERTY» и несколько вариаций её ввода в течении 8с пользователями с разным уровнем работы на клавиатуре изображены на рис. 2, 3, 4.

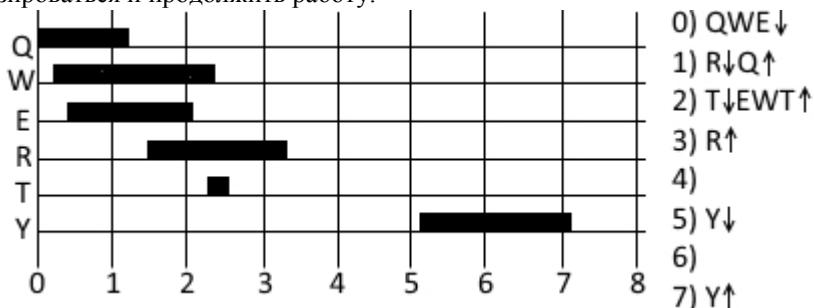


Рис. 2. Ввод парольной фразы QWERTY пользователем 1

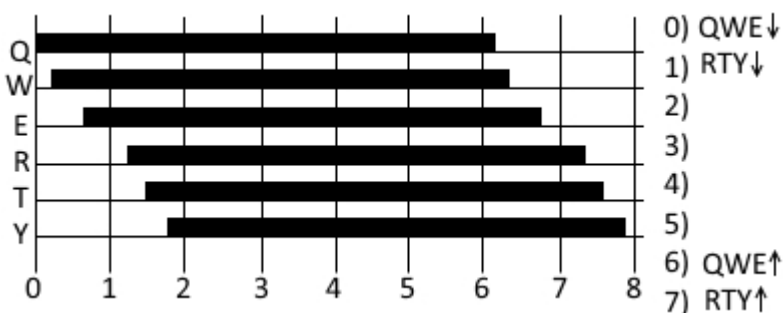


Рис. 3. Ввод парольной фразы QWERTY пользователем 2

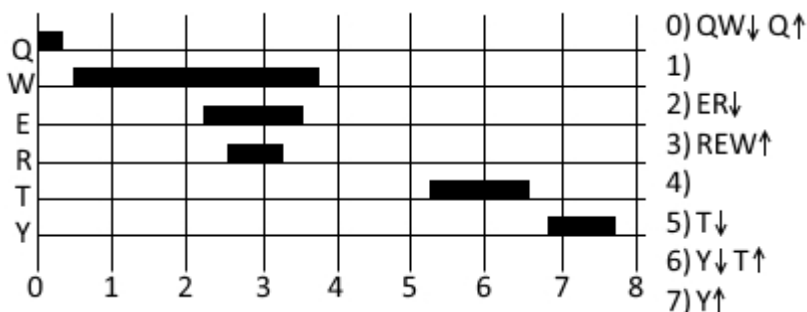


Рис. 4. Ввод парольной фразы QWERTY пользователем 3

В связи с точным определением пользователем времени нажатия и отпускания клавиш, точность определения этого метода может достигать 100 %, а вероятность возникновения ошибки второго рода

стремится к нулю при увеличении сложности парольной фразы.

Общая статистика по проведенным анализам предыдущих разработок систем клавиатурной аутентификации отображена в следующих таблицах 1, 2.

Таблиця 1

Анализ алгоритмов аутентификации по клавиатурному почерку

Автор; Название	В. Г. Абашин; Автоматизация процесса определения психофизиологического состояния оператора автоматизированного рабочего места в АСУТП	Р. Р. Шарипов; Разработка полигауссового алгоритма аутентификации пользователей в телекоммуникационных системах и сетях по клавиатурному почерку	Л. Э. Чалая; Сравнительный метод аутентификации пользователей компьютерных систем по клавиатурному почерку	И. А. Ходашинский, М. В. Савчук, И. В. Горбунов, Р. В. Мещеряков; технология усиленной аутентификации пользователей информационных процессов
Время удержания клавиш	-	+	+	+
Скорость нажатия клавиш	-	+	-	-
Скорость набора текста/фразы	+	+	+	+
Интервалы между нажатиями	-	+	+	+
Перекрытия	-	-	+	+
Возможность ошибки	+	+	+	+
Динамика (стабильность) ввода	-	-	+	+
Аритмичность ввода	-	-	+	+
Психофизическое состояние	+	-	+	-
Коды клавиш клавиатуры	-	-	-	+
Использование шаблонов групп клавиш	-	-	-	-
Особенности				
Коэффициент сложности для пользователя	-	-	+	-
Смена клавиатуры не влияет на показания	+	-	-	+
Однократный ввод контрольной фразы	-	+	+	+
Авторизация по неизвестной парольной фразе	-	-	+	+
Использование управляющего воздействия (аудио/цвет)	+	-	-	-
Не используется дополнительное оборудование	+	-	+	+
Сравнение полученных данных с 1 пользователем из базы данных	-	-	+	+



Табл. 1. Продолжение

Автор; Название	В. Г. Абашин; Автоматизация процесса определения психофизиологического состояния оператора автоматизированного рабочего места в АСУТП	Р. Р. Шарипов; Разработка полигауссового алгоритма аутентификации пользователей в телекоммуникационных системах и сетях по клавиатурному почерку	Л. Э. Чалая; Сравнительный метод аутентификации пользователей компьютерных систем по клавиатурному почерку	И. А. Ходашинский, М. В. Савчук, И. В. Горбунов, Р. В. Мещеряков; технология усиленной аутентификации пользователей информационных процессов
Определение подмены пользователя во время работы	+	-	-	-
Формирование эталона КП	Длительное обучение	30 дней	Длительное обучение	3–5 минут
Статистика				
Вероятность ошибки I рода (профи) %	не приведено	не приведено	1,81	8,6
Вероятность ошибки II рода (профи) %	не приведено	не приведено	1,75	7
Вероятность ошибки I рода (новичок) %	не приведено	не приведено	не приведено	не приведено
Вероятность ошибки II рода (новичок) %	не приведено	не приведено	не приведено	не приведено
Эффективность метода для проф %	не приведено	95 %	98,20 %	91,70 %
Эффективность метода для новичков %	не приведено	не приведено	не приведено	не приведено

Таблица 2

**Анализ алгоритмов аутентификации по клавиатурному почерку**

Автор; Название	Ю. А. Брюхомицкий, М. Н. Казарин; метод биометрической идентификации пользователя по клавиатурному почерку на основе разложения Хаара и меры близости Хэмминга	Ю. А. Брюхомицкий; гистограммный метод распознавания клавиатурного почерка	А. Н. Савинов; методы модели и алгоритмы распознавания клавиатурного почерка в ключевых системах	Войтов В. М.; Исследование алгоритмов аутентификации пользователя по клавиатурному почерку
Время удержания клавиш	+	+	+	+
Скорость нажатия клавиш	-	-	-	-
Скорость набора текста/фразы	-	-	+	-
Интервалы между нажатиями	+	+	+	+
Перекрытия	+	+	+	+

Табл. 2. Продовження

Автор; Название	Ю. А. Брюхомицкий, М. Н. Казарин; метод биометрической идентификации пользователя по клавиатурному почерку на основе разложения Хаара и меры близости Хэмминга	Ю. А. Брюхомицкий; гистограммный метод распознавания клавиатурного почерка	А. Н. Савинов; методы модели и алгоритмы распознавания клавиатурного почерка в ключевых системах	Войтов В. М.; Исследование алгоритмов аутентификации пользователя по клавиатурному почерку
Возможность ошибки	–	–	+	–
Динамика (стабильность) ввода	–	–	+	–
Аритмичность ввода	–	–	+	–
Психофизическое состояние	–	–	+	+
Коды клавиш клавиатуры	–	–	–	+
Использование шаблонов групп клавиш	–	–	+	+
Особенности				
Коэффициент сложности для пользователя	–	–	–	+
Смена клавиатуры не влияет на показания	–	–	–	+
Однократный ввод контрольной фразы	+	–	–	+
Авторизация по неизвестной парольной фразе	+	–	–	+
Использование управляющего воздействия (аудио/цвет)	–	–	–	+
Не используется дополнительное оборудование	+	–	+	+
Сравнение полученных данных с 1 пользователем из базы данных	+	–	–	+
Определение подмены пользователя во время работы	–	–	+	–
Формирование эталона КП	5–10 минут	3–5 минут	Длительное обучение	3 минуты
Статистика				
Вероятность ошибки I рода (профи) %	3	не приведено	не приведено	2
вероятность ошибки II рода (профи) %	не приведено	не приведено	не приведено	0
Вероятность ошибки I рода (новичок) %	не приведено	не приведено	не приведено	18
Вероятность ошибки II рода (новичок) %	не приведено	не приведено	не приведено	0

Автор; Название	Ю. А. Брюхомицкий, М. Н. Казарин; метод биометрической идентификации пользователя по клавиатурному почерку на основе разложения Хаара и меры близости Хэмминга	Ю. А. Брюхомицкий; гистограммный метод распознавания клавиатурного почерка	А. Н. Савинов; методы модели и алгоритмы распознавания клавиатурного почерка в ключевых системах	Войтов В. М.; Исследование алгоритмов аутентификации пользователя по клавиатурному почерку
Эффективность метода для проф %	91,50 %	не приведено	98 %	99 %
Эффективность метода для новичков %	не приведено	не приведено	не приведено	90 %

Проведенный анализ алгоритмов и методов аутентификации пользователей по клавиатурному почерку позволяет сделать следующие выводы:

1. Системы скрытого мониторинга позволяют достичь более высокой точности, нежели методы аутентификации по парольной фразе, однако требуют длительного времени для обучения.

2. Системы парольной аутентификации делятся на ввод фразы с экрана компьютера и ввод известной лишь оператору парольной фразы. При вводе фразы с экрана компьютера без длительного обучения программы наиболее вероятно возникновение ошибки второго рода.

3. При смене клавиатуры или изменении психофизического состояния пользователя повышается вероятность возникновения ошибки первого рода, а в скрытых системах мониторинга позволяет следить за состоянием пользователя.

4. При повышении коэффициента достоверности аутентификации, у пользователей с низким навыком владения устройством ввода критично увеличивается вероятность возникновения ошибки первого рода, а при его уменьшении возрастает вероятность ошибки второго рода, что уменьшает эффективность всей системы в целом.

5. Количество используемых параметров, которые учитываются при создании математической модели, позволяют уменьшить вероятность возникновения ошибки второго рода, однако повышают вероятность возникновения ошибки первого. Для нахождения «золотой середины» используются коэффициенты достоверности, которые разграничивает области «свой» и «чужой».

Сравнение результатов тестирования разработанного метода с анализированными позволяет сделать следующие выводы:

1. Разработанный метод позволяет исключить вероятность возникновения ошибки второго рода, если пользователь не знает точную последовательность и время нажатия/отпускания клавиш.

2. Метод не использует математический аппарат, не требует использования коэффициента достоверности, который разграничивает области «свой» и «чужой», поэтому в отличии от других методов его эффективность может достигать 100 % (в отличии от 99.9 %, используемых в системах скрытого мониторинга с длительным обучением).

3. Имеет высокую точность и занимает от 3 до 20 минут на регистрацию пользователя в зависимости от навыков владения клавиатурой.

4. Возможность привязки к одной учетной записи разных паролей в зависимости от используемого устройства для авторизации в системе/базе данных и т. д.

5. При замене клавиатуры на другой тип повышает вероятность возникновения ошибки первого рода у пользователей с низким навыком владения клавиатурой и пользователей с высокой сложностью ввода парольной фразы. При использовании на разных платформах предлагается использовать разные пароли для удобства.

6. Может быть реализован как на ПК с клавиатурой, так и на компьютерах с тачскрином, мобильных устройствах, планшетах (удобство зависит от площади области ввода).

7. Эффективна при авторизации пользователей с низким уровнем владения устройства ввода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Казарин М. Н. Разработка и исследование методов скрытого клавиатурного мониторинга [Электронный ресурс] / Казарин М. Н. – Таганрог, 2006. – Режим доступа : <http://www.dissercat.com/content/razrabotka-i-issledovanie-metodov-skrytnogo-klaviaturnogo-monitoringa>. – Загл. с экрана.
2. Абашин В. Г. Автоматизация процесса определения психофизиологического состояния оператора автоматизированного рабочего места в АСУТП [Электронный ресурс] / В. Г. Абашин. – Орел, 2007. – Режим доступа : <http://www.dissercat.com/content/avtomatizatsiya-protsesta-opredeleniya-psikhofiziologicheskogo-sostoyaniya-operatora-avtomat>. – Загл. с экрана.
3. Шарипов Р. Р. Разработка полигауссового алгоритма аутентификации пользователей в телекоммуникационных системах и сетях по клавиатурному почерку [Электронный ресурс] / Р. Р. Шарипов. – Казань, 2006. – Режим доступа :

- <http://tekhnosfera.com/razrabotka-poligaussovogo-algoritma-autentifikatsii-polzovateley-v-telekommunikatsionnyh-sistemah-i-setyah-po-klaviaturno>. – Загл. с экрана.
4. Чалая Л. Э. Сравнительный метод аутентификации пользователей компьютерных систем по клавиатурному почерку [Электронный ресурс] / Л. Э. Чалая. – Харьков, 2008. – Режим доступа : <https://goo.gl/9JuhYu>. – Загл. с экрана.
  5. Технология усиленной аутентификации пользователей информационных процессов [Электронный ресурс] / Ходашинский И. А., Савчук М. В., Горбунов И. В., Мещеряков Р. В. – Томск, 2011. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-usilennoy-autentifikatsii-polzovateley-informatsionnyh-protsessov>. – Загл. с экрана.
  6. Метод биометрической идентификации пользователя по клавиатурному почерку на основе разложения Хаара и меры близости Хэмминга [Электронный ресурс] / Брюхомицкий Ю. А., Казарин М. Н. – Таганрог, 2003. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/metod-biometricheskoj-identifikatsii-polzovatelya-po-klaviaturnomu-pocherku-na-osnove-razlozheniya-haara-i-mery-blizosti-hemminga>. – Загл. с экрана.
  7. Брюхомицкий Ю. А. Гистограммный метод распознавания клавиатурного почерка [Электронный ресурс] / Ю. А. Брюхомицкий, Таганрог, 2010. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/gistogrammnyu-metod-raspoznavaniya-klaviaturnogo-pocherka>. – Загл. с экрана.
  8. Савинов А. Н. Методы, модели и алгоритмы распознавания клавиатурного почерка в ключевых системах [Электронный ресурс] / Савинов А. Н. – Йошкар-Ола. – Режим доступа : <http://tekhnosfera.com/metody-modeli-i-algoritmy-raspoznavaniya-klaviaturnogo-pocherka-v-klyuchevyh-sistemah>. – Загл. с экрана.

**О. В. Стрельцов,  
В. М. Войтов,**

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ

*Разработки в области биометрической аутентификации по клавиатурному почерку имеют ряд преимуществ и недостатков, для упразднения которых был предложен метод аутентификации по клавиатурному почерку в виде системы с использованием свойств компьютерной логики, направленной на устранение коэффициента эффективности в системах парольной аутентификации. Таким образом, за счет созданного алгоритма, появилась возможность как авторизации пользователей с не выраженным клавиатурным почерком и низким навыком владения, так и использования данного метода в устройствах с разными способами ввода данных, минимизировав вероятность возникновения ошибок как первого так и второго рода.*

**Ключевые слова:** клавиатурный почерк; биометрическая аутентификация; скрытые системы мониторинга клавиатурного почерка; анализ алгоритмов биометрической аутентификации; анализ методов биометрической аутентификации; биометрические системы контроля доступа; метод биометрической аутентификации на основе компьютерной логики.

**O. V. Streltsov,  
V. M. Voytov,**

Odesa National Polytechnic University, Odesa, Ukraine

## RESEARCH OF KEYBOARD HANDWRITING AUTHENTICATION ALGORITHMS

*Developments in the field of keyboard handwriting biometric authentication have a number of advantages and disadvantages for which the abolition of the authentication method was proposed based on the keyboard in the form of handwriting system using the properties of computer logic, aimed at addressing the efficiency ratio in the password authentication systems. Thus, by an algorithm, it is possible as the user authentication with no pronounced keyboard handwriting and low skill ownership and use of this method in devices with different methods of data entry, minimizing the likelihood of errors of both the first and second kind.*

**Key words:** handwriting keyboard; biometric authentication; hidden keyboard monitoring system of handwriting analysis algorithms for biometric authentication; biometric authentication methods of analysis; biometric access control systems; biometric authentication method based on computer logic.

**Рецензенты:** Д. Т. Н., проф. **М. П. Мусієнко;**  
К. Т. Н., доц. **І. М. Журавська.**

© Стрельцов О. В., Войтов В. М., 2016

Дата надходження статті до редколегії 10.10.16

## МОДЕЛЬ КОМУНІКАТИВНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПОВЕДІНКИ КОМПОНЕНТІВ ПРИ МУЛЬТИАГЕНТНІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ МЕРЕЖЕВИХ СИСТЕМ

*Функціонування системи оптичної навігації потребує використання потужних обчислювальних ресурсів, що можуть бути забезпечені мультиагентною системою за умови ефективної організації. В роботі досліджується розподілене обчислення функціональних завдань бездротовою динамічною мережею апаратних компонентів на основі мультиагентних систем. Пропонується метод комунікативної трансформації поведінки компонентів при мультиагентній організації мережесистем, що надає можливість створення математичної моделі адаптації поведінки агента, яка буде надавати змогу функціонування агента у мультиагентній системі в коротко- чи довгостроковій перспективі. Запропонована структурна модель поведінки агента під час функціонування в МАС дозволяє динамічну зміну логіки агента на основі аналізу параметрів поведінкових станів за допомогою LSTM.*

**Ключові слова:** мультиагентні системи; формалізація моделі поведінки; колективний інтелект; довга короткочасна пам'ять; рекурентні нейронні мережі.

**Вступ.** У сучасних науках про штучний інтелект одні і ті ж терміни часом характеризуються різними предметними сферами застосування. Сенс їх може змінюватися при вживанні в різних контекстах. Це цілком відноситься і до терміну штучне життя, який вживається як у вузькому, так і широкому сенсі слова. Штучне життя у вузькому сенсі є розділом теорії мультиагентних систем (МАС), де вивчаються питання виникнення інтелектуальної поведінки на основі локальних взаємодій агентів. При цьому самі агенти можуть бути необов'язково інтелектуальними, що є викликом сучасним дослідникам штучного інтелекту. У цьому плані мультиагентні системи відносяться до повністю децентралізованих систем колективної поведінки.

Аналіз і моделювання штучних агентів спираються на їх уявлення як віртуальних об'єктів, що знаходяться в динамічній рівновазі з середовищем, або на їх трактування як комунікативних агентів у штучній популяції мультиагентної системи. Останній напрям активно розробляється в контексті досліджень виникнення і розвитку колективного інтелекту в штучних роях [1, 2].

Основним предметом дослідження є розподілене обчислення функціональних завдань бездротовою динамічною мережею апаратних компонентів на основі мультиагентних систем. Об'єктом дослідження є метод комунікативної трансформації поведінки ком-

понентів при мультиагентній організації мережесистем. Метою дослідження є створення математичної моделі адаптації поведінки агента, яка буде надавати змогу функціонування агента у мультиагентній системі в коротко- чи довгостроковій перспективі. Для дослідження та задачі:

– визначити аспекти моделі агентів в процесах функціонування, комунікації, інтелектуальності, раціональності, навчання.

– визначити механізми агентів, що надавали б змогу адаптувати свою діяльність в коротко- чи довгостроковій перспективі.

**Матеріали та методи дослідження.** Для формального визначення МАС можна взяти за основу поняття алгебри, яка виражається у вигляді непорожньої множини, що була названа носієм або основою системи, множини предикатів, множини операцій [3]. Очевидна багатоосновність системи була недостатньо виражена для набору специфічних завдань.

В статтях [4, 5] МАС інтерпретується як штучний рій (swarm), побудований з мобільних, реактивних агентів, які здатні локально взаємодіяти один з одним і колективно вирішувати різні завдання, діючи паралельно. Проте прототипи механізмів контролю реактивної специфіки поведінки агентів були визначені для вузького кола задач.

Інший можливий варіант опису агентів і МАС запропонований К. Цетнарівічем [6]. Він спирається на

ідею трьохступеневого визначення основних понять: множини агентів, множини просторів, взаємозв'язку між множиною агентів і множиною просторів з урахуванням ресурсів середовища.

У свою чергу, МАС в [7], що розуміється як соціальний або колективний агент, визначається: множиною станів, узагальненою функцією переходів між станами, множиною мов, множиною дій, множиною соціальних законів у вигляді безлічі обмежень, але в роботі була відсутня математична формалізація моделі МАС.

Варіант опису МАС з акцентом на її дії був запропонований в роботі [8]. Недостатньо безумовно були описані: безлічі агентів, кінцеве безліч дій у МАС, безліч дій агента, підмножина розширеної множини дій, яке описує поведінку всієї МАС.

де  $T_{PD}$  – час виконання коду, що є платформово залежним,  $LS$  – розмір циклічного оператора у програмному коді логіки агента,  $outer(LS)$  – функція визначення максимального зовнішнього граничного значення лічильника циклічного оператора,  $inner(LS)$  – функція визначення максимального внутрішнього граничного значення лічильника циклічного оператора,  $NL$  – рівень вкладеності циклічного блоку програмного коду,  $NL_j$  – рівень вкладеності  $j$ -го циклічного блоку програмного коду в файлі з логікою агента,  $LN$  – кількісна LoC характеристика файла з логікою аген-

В результаті аналізу існуючих підходів до опису моделі процесу мультиагентної організації комп'ютерних систем чи мереж зроблено висновок про необхідність формалізації математичної моделі.

Кожний агент має множину методів взаємодії як з іншими агентами, так із середовищем. Функціональний характер методів взаємодії агентів повинний бути оцінений на основі програмної складності коду  $AC^f$ , що розраховується наступним чином:

$$\begin{cases} AC^f = \frac{1}{T_{PD}} \cdot LS^{NL} \cdot \frac{1}{LN} \sum_{i=1}^{LN} OL_i, \\ \frac{|outer(LS) - inner(LS)|}{2} < LS < \max(LS), \\ \max(NL_j) < NL < \sum_{j=1}^{C_M} NL_j, \end{cases} \quad (1)$$

та,  $OL_i$  – кількість математичних операцій у  $i$ -ій строці файлу.

Автономність, як властивість агентної сутності, в моделі відображається графом поведінкових станів  $AL = \langle ACF, T(AC^f) \rangle$ . Множина вершин, що відображає поведінку агента та відповідні поведінкові функції взаємодії агента визначається як  $ACF = \{A^f, B^f, C^f, D^f, \dots, AC_m^f\}$ , де  $m$  – кількість функцій агента, складність яких може бути оцінена. Поведінка агента є динамічною. Множина функцій трансформування станів  $T(AC^f)$  описує характерні особливості зміни поведінки.

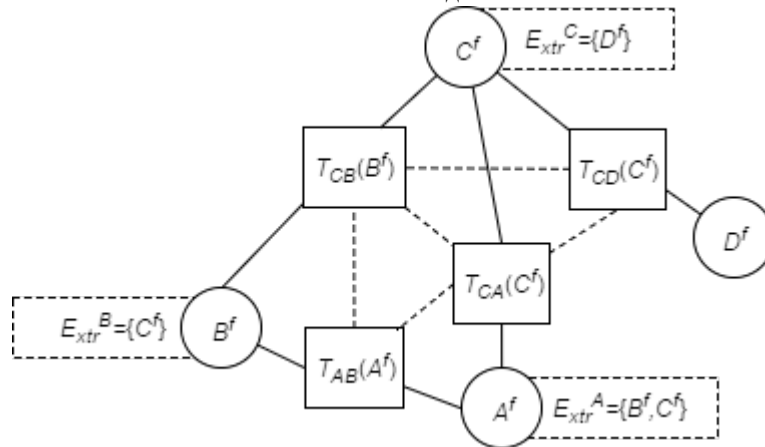


Рис. 1. Принципова структурна модель поведінки агента під час функціонування в МАС

Логічна структура поведінки має зберігатись з урахуванням обмеженості апаратних ресурсів платформи, на якій функціонує сутність агента, тому інформація графу є стисненою (рис 1.). Операції над модифікацією поведінки агента проводяться з використанням функції серіалізації  $E_{xtr}^{AC_k^f}$ :

$$\begin{cases} E_{xtr}^{AC_k^f} = \{T_{c,n(i+1)}(AC_k^f), T_{c,n(i+2)}(AC_k^f), T_{c,n(i+m)}(AC_k^f)\}, \\ [c, n(z)] \rightarrow [n(z), c] | T_{n(z),c}(AC_{k+1}^f), \\ c = AC_{k,i}^f, n(z) = AC_{k+1,z}^f, \end{cases} \quad (2)$$

де  $k$  – рівень графу станів відносно початкової точки серіалізації,  $AC_k^f$  – поведінковий стан агента, який може бути трансформований за допомогою фун-

кції  $T_{c,n(z)}(AC_k^f)$ ,  $c = AC_{i,k}^f$  – поточний стан поведінки агента відносно початкової точки серіалізації, порядковим індексом  $i$ ,  $n(z) = AC_{k+1,z}^f$  – наступний стан поведінки агента відносно початкової точки серіалізації, порядковим індексом  $z = i + 1$  з множини можливих поведінкових станів наступного рівня графу. Характерною особливістю структури графу поведінкових станів є зворотність напрямку трансформації відносно напрямку серіалізації  $[c, n(z)] \rightarrow [n(z), c] | T_{n(z),c}(AC_{k+1}^f)$ . Функція трансформації на основі аналізу комунікативних пакетів агентів ініціює зміну визначеного поточного стану у наступний стан за динамічним графом моделі поведін-

ки. В моделі агента, що пропонується, використовується аналітика ідентичності параметрів визначених станів поведінки. Так для стану  $A^f$  можуть бути визначені параметри  $A^f = \{p_1^A, p_2^A, \dots, p_s^A\}$ , що будуть вхідними даними функції трансформації, де  $s$  є кількістю параметрів.

Як агенти можуть адаптувати свою діяльність в коротко- чи довгостроковій перспективі? Які відповідні механізми навчання агентів будуть використовуватись в контексті мультиагентності? Властивості рекурентної нейронної мережі з архітектурою довгої короткочасної пам'яті (LSTM) [9,10,11] надають можливість розробити модель поведінки агента в у часовій перспективі. Використання модифікованої LSTM дозволить визначити умови трансформації поведінкових станів між декількома агентами.

Множина агентів, що виконують суміжні обчислювальні задачі, накопичує поведінковий досвід  $C_k^{CA^f}$  у вигляді інформації про апаратні параметри обчислювальної платформи:

$$C_k^{CA^f} = \frac{\sum_{i=1}^s b_i \cdot p_i^{CA^f}}{\sum_j^{N_j} AC_{k-1,j}^f \cdot \sum_l^{N_l} AC_{k+1,l}^f}, \quad (3)$$

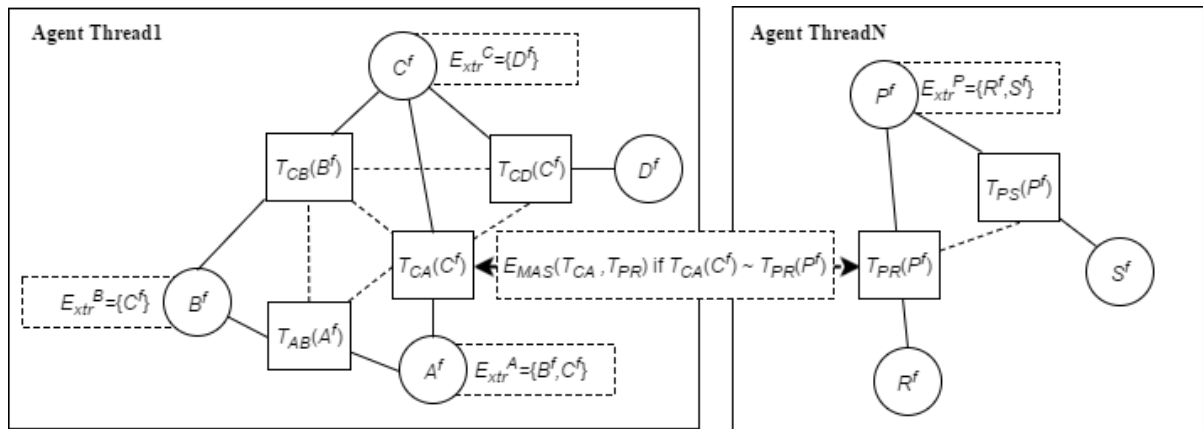


Рис. 2. Динамічна зміна структури поведінки агента на основі аналізу параметрів за допомогою LSTM

Функція  $E_{MAS}$  отримує в якості параметрів результати визначення поведінкових станів на основі LSTM. В результаті формуються шкали діапазонів точності, що впливають на ймовірність зміни стану з врахуванням раціональності з'єднання агентної поведінки.

**Результати досліджень та висновки.** Для дослідження ефективності MAC з запропонованою моделлю поведінки агентів була обрана задача оптичної навігації як завдання з великою потребою у обчислювальних ресурсах. Для того, щоб апаратні модулі компонентів MAC функціонували, необхідно обрати

де  $k$  – рівень графу станів відносно початкової точки співпадіння поведінкових станів, що визначені нейрон-мережевими механізмами функцій трансформації,  $k + 1$  та  $k - 1$  – наступний та попередній рівні графу станів відповідно,  $j$  – індекс поведінкового стану на  $(k - 1)$  рівні,  $l$  – індекс поведінкового стану на  $(k + 1)$  рівні,  $N_j$  – кількість поведінкових станів на  $(k - 1)$  рівні,  $N_l$  – кількість поведінкових станів на  $(k + 1)$  рівні. Виходячи з того, що параметри станів можуть мати відмінні одиниці вимірів вводяться балансуєчі коефіцієнти  $b_i$ .

Тому в LSTM [12] архітектурі було модифіковано лише обрахунок значення оновлюючого вихідного ключа, що виконуватиме злиття клітинних станів зі скритим шаром з врахуванням поведінкового досвіду:

$$h_t = (1 - z_t) \cdot h_{t-1} + z_t \cdot \tilde{h}_t + C_k^{CA^f}, \quad (4)$$

Внаслідок цього виникає можливість динамічно скеровувати логіку функціонування агентів за рахунок з'єднання поведінкових графів декількох агентів (рис. 2).

обладнання за наступними критеріями: ЕОМ з великим об'ємом постійної та оперативної пам'яті та потужним процесором для обробки даних у режимі реального часу, достатня потужність графічного процесору для обробки зображень камери з високою роздільною здатністю. Серед великої кількості апаратних платформ найбільш підходить Raspberry Pi 3B та ODROID-C2. Проаналізувавши їх характеристики вибір було зроблено у сторону ODROID-C2 (табл. 1), оскільки він має більш потужний процесор та 2 Gb оперативної пам'яті ніж 1 Gb RAM у Raspberry Pi 3B.

Апаратні характеристики ODRROID-C2

CPU	Amlogic S905 SoC 4 x ARM Cortex-A53 2GHz 64bit ARMv8 Architecture @28nm
GPU	3 x ARM Mali-450 MP 700MHz
RAM	2GB 32bit DDR3 912MHz
Ethernet / LAN	10/100/1000 Ethernet
Video Output	HDMI 2.0 4K / 60Hz
Flash Storage	Micro-SD UHS-1 @83Mhz/SDR50 or eMMC5.0 storage option
Camera Input	USB 720p
IO Expansion	40 + 7 pin port GPIO / UART / I2C / I2S / ADC

На основі алгоритму (рис. 3) програмної реалізації пошуку часткового зображення на картографічному зображенні було створено граф поведінки агента, до якого входять наступні стани:

1. Ініціалізація даних: створення детектору, екстрактору та об'єкту для пошуку відповідностей у дескрипторах та ініціалізація мапи на основі зчитування xml файлів з інформацією в оперативну пам'ять;

2. Отримання поточного зображення з камери. Пошук ключових точок та дескрипторів для отриманого зображення;

3. Створення потоків на агентних платформах компонентів динамічної мережі для порівняння зображень на основі пошуку відповідностей у дескрипторах.

4. Відсіювання зайвих зв'язків (рис. 4) за допомогою алгоритму RANSAC. Розрахунок точок, які описують знайдені границі шуканого на карті зображення, отриманого з камери;

5. Знаходиться середня точка. Обчислюються умовні координати. За орієнтир беруться координати у пікселях знайденої точки. Обчислюються географічні координати.

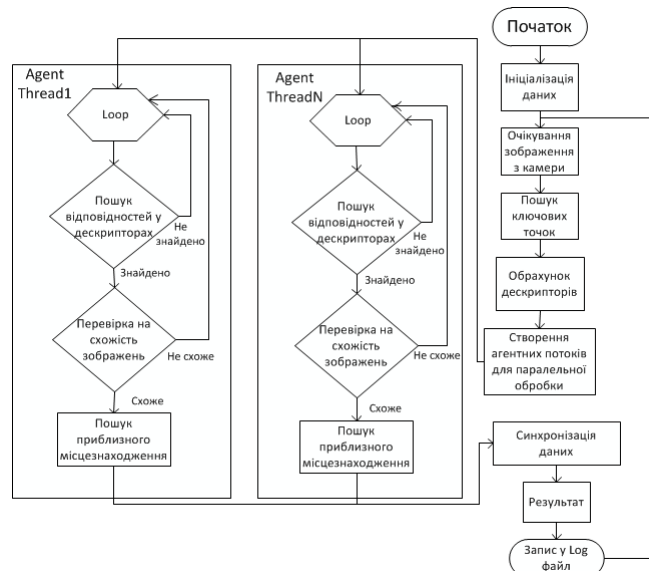
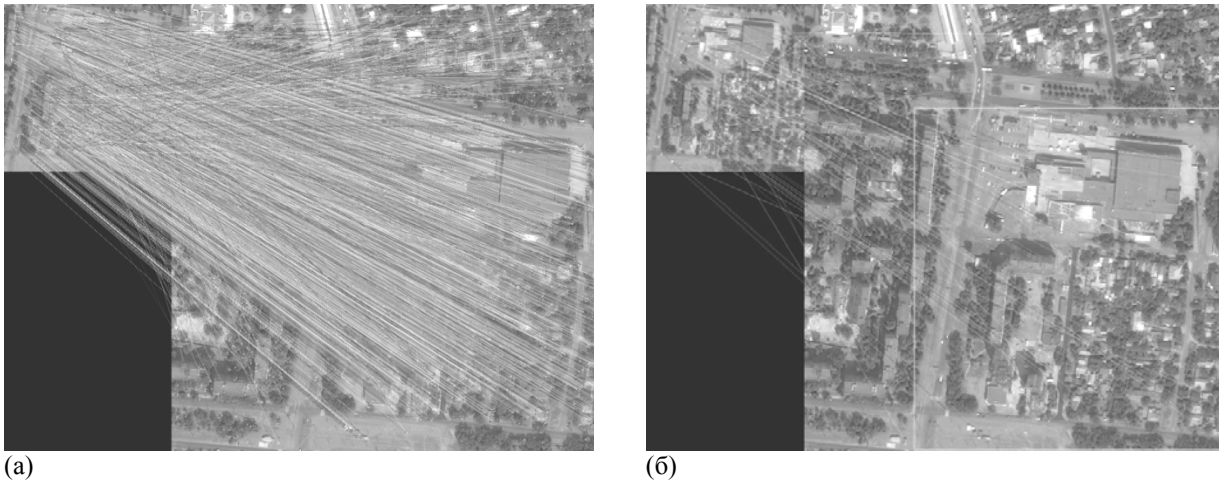


Рис. 3. Алгоритм обробки зображень під час оптичної навігації на основі моделі комунікативної трансформації поведінки компонентів MAC

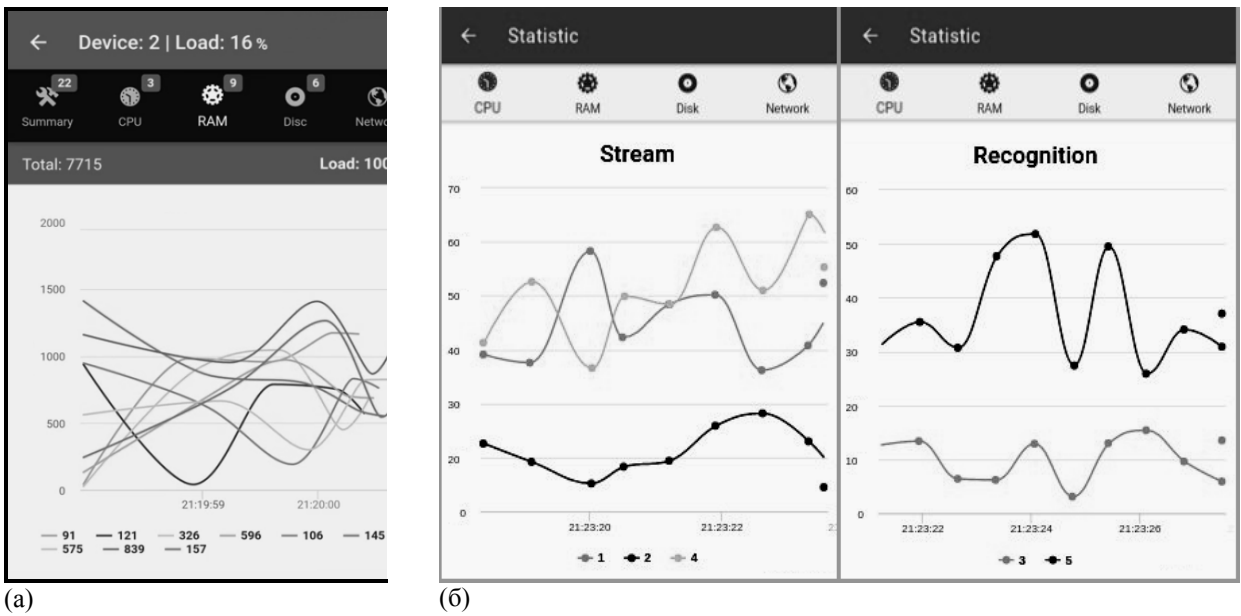




**Рис. 4.** Результати знаходження відповідної частини знімку в процесі розпізнавання картографічного зображення.

МАС для оптичної навігації була розгорнута на основі комп'ютерної мережі з п'яти пристроїв. Для дослідження ефективності використання оперативної пам'яті (рис. 5 (а)) запропонованої моделі агентної поведінки крім задачі розпізнавання картографічних зображень під час оптичної навігації також виконува-

вся аналіз системних параметрів під час потокової передачі даних з трьох джерел відеоданих (рис. 5. (б)). Безпосередньо агентні компоненти МАС організували динамічні мережеві з'єднання, що характеризують мережу здебільшого як повнозв'язну.



**Рис. 5.** Система моніторингу апаратних характеристик агентних обчислювальних платформ:  
 а – обсяг використаної оперативної пам'яті;  
 б – завантаження процесору при виконанні завдань потокової передачі та розпізнавання частини зображення

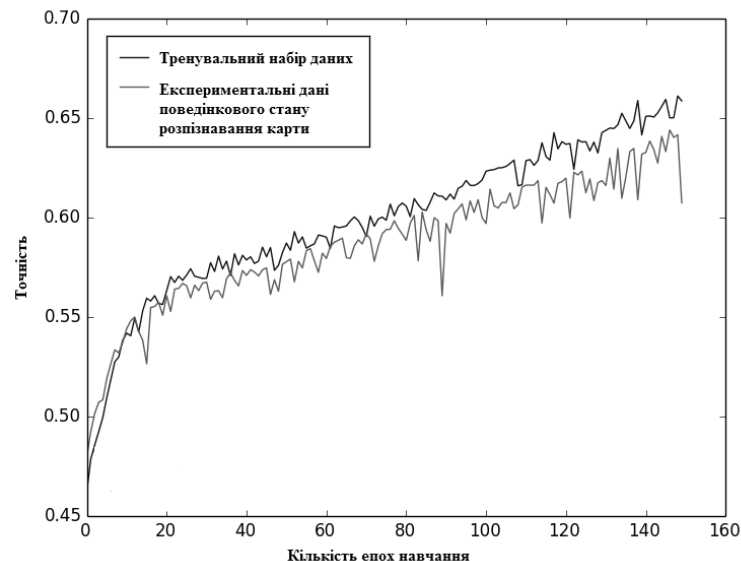


Рис. 6. Середнє значення точності визначення станів функціями трансформації

МАС на основі комунікативної трансформації поведінки автоматично визначає достатню кількість агентів для основної задачі оптичної навігації, зменшивши на 4,9 % середню завантаженість процесорів компонентів на основі раціонального рішення виділення кількості агентних компонентів для потокової відеопередачі з достатньою якістю для швидкого розпізнавання в діапазоні 1,3–2,2 с. Треба зазначити, що при цьому збільшується обсяг службового трафіку на

24 %. Зменшився час реорганізації МАС при переорієнтації ролей агентів, що була ініційована функцією трансформації довільного агента, на 7 % в порівнянні з повною реконфігурацією маршрутів передачі даних в МАС. Проте подальшого дослідження потребують мультиагентні модифікації LSTM для визначення поведінкових станів агента внаслідок того, що значення точності не перевищує 67 % (рис. 6).

## ЛІТЕРАТУРА

1. G. Theraulaz. Task differentiation in polistes wasp colonies: A model for self-organizing groups of robots / G. Theraulaz, S. Goss, J. Gervet, J-L. Deneubourg // First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior. Cambridge, MA : MIT Press. – 1990.
2. M. J. Wooldridge. Agent theories, architectures, and languages: A survey / M. J. Wooldridge, N. R. Jennings // Intelligent Agents: ECAI-94 Workshop on Agent Theories, Architectures, and Languages Proceedings. – 1995. – P. 1–39.
3. J. Bates. The role of emotion in believable agents. / J. Bates. // Communications of the ACM. – Vol. 37(7). – 1994. – P. 122–125.
4. R. Aylett. Multiple cooperating robots – combining planning and behaviours. / Aylett and D. Eustace. // Proceedings of the 1993 Workshop on Cooperating Knowledge Based Systems (CKBS-93). – 1994. – P. 3–11.
5. R. A. Brooks. A robust layered control system for a mobile robot. / R. A. Brooks. // IEEE Journal of Robotics and Automation. – Vol 2(1). – 1986. – P. 14–23.
6. E. Cetnarovicz. Agent-Oriented Technology of Decentralized Systems Based on the M-agent Architecture / E. Cetnarovicz, E. Vavancki, K. Celnarovin // IFAC/IFIP Conference on Management and Control of Production and Logistics (MCPL'97). – V. 2. – 1997. – P. 486–491.
7. Y. Demazeau. Populations and Organizations of Open-Multi-Agent Systems / Y. Demazeau // Proceedings of the First Symposium on Parallel and Distributed AI. – 1996.
8. H-D. Burkhard. How to define agent properties – or: What is a fair agent / H-D. Burkhard // Technical Report, Fachbereich Informatik, Humboldt-Universität Berlin. – 1993.
9. S. Hochreiter. Long Short-Term Memory / S. Hochreiter, J. Schmidhuber // Neural Computing, MIT Press. – 1997. – Vol. 9(8). – P. 1735–1780.
10. K. Tran. Recurrent memory network for language modeling / K. Tran, A. Bisazza, C. Monz // Proceedings of the 15th NAACL, San Diego, CA. – 2016.
11. K. S. Tai. Improved semantic representations from tree-structured long short-term memory networks. / K. S. Tai, R. Socher, and C. D. Manning // Proceedings of the 53rd ACL. – 2015. – P. 1556.
12. K. Cho. Learning Phrase Representations using RNN Encoder–Decoder for Statistical Machine Translation / K. Cho, and B. Van Merriënboer, C. Gulcehre, D. Bahdanau, F. Bougares, H. Schwenk, Y. Bengio // Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). – 2014. – P. 1724–1734.

**И. С. Бурлаченко,**

**А. Е. Довгенко,**

Черноморский национальный университет им. Петра Могилы,  
г. Николаев, Украина

## МОДЕЛЬ КОММУНИКАТИВНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОВЕДЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИ МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТЕВЫХ СИСТЕМ

*Функционирование системы оптической навигации требует использования мощных вычислительных ресурсов, которые могут быть обеспечены мультиагентной системой при условии эффективной организации. В работе исследуется распределенные вычисления функциональных задач беспроводной динамической сетью аппаратных компонентов на основе мультиагентных систем. Предлагается метод коммуникативной трансформации поведения компонентов при мультиагентной организации сетевых систем, который описывает создание математической модели адаптации поведения, который будет предоставлять возможность функционирования агента в мультиагентной системе в кратко- или долгосрочной перспективе. Предложенная структурная модель поведения агента во время функционирования в МАС позволяет динамическое изменение логики агента на основе анализа параметров поведенческих состояний с помощью LSTM.*

**Ключевые слова:** мультиагентные системы; формализация модели поведения; коллективный интеллект; длинная кратковременная пам'ять; рекуррентные нейронные сети.

**I. Burlachenko,**

**O. Dovhenko,**

Petro Mohyla Black Sea National University,  
Mykolaiv, Ukraine

## THE MODEL OF COMMUNICATIVE BEHAVIOR TRANSFORMATION FOR COMPONENTS OF MULTI-AGENT NETWORK SYSTEMS ORGANIZATION

*Functionality of the systems of optical navigation and communications will require the usage of vigorous quantitative resources, which with multi-agent systems for the proper organization can be provided. In the paper the distributed computing of functional tasks by dynamic wireless network hardware components based on multi-agent systems is investigated. The method of communicative behavior's transformation of network components in multi-agent systems, providing the ability to create a mathematical model of agent's behavior adaptation that will provide an opportunity to functioning agent in multi-agent system in the short or long term is proposed. The proposed structural model of agent's behavior during operations in the MAS allows dynamic changes the agent's logic by analyzing the parameters of agent behavioral states using LSTM was investigated.*

**Key words:** Multi-Agent System; formalization of behaviors model; collective intelligence; Long Short-Term Memory; Recurrent Neural Networks.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. П. Мусієнко;**  
к. т. н., доц. **І. М. Журавська.**

© Бурлаченко І. С., Довгенко О. Є., 2016

Дата надходження статті до редколегії 26.09.16

## **МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

*Дистанционное зондирование земной поверхности обеспечивает уникальные возможности оперативного сбора данных с высоким пространственным, спектральным и временным разрешением. Автоматизированная обработка изображений земной поверхности позволяет эффективно решать научные и прикладные задачи в области картографии, исследования природной среды, океанологии, поиска и освоения полезных ископаемых, сельского и лесного хозяйства и во многих других областях.*

*В статье рассматриваются модели и методы описания цифровых текстурных изображений. Проведен обзор современного состояния автоматизированной обработки изображений в системах воздушного мониторинга. Дано определение модели текстурного изображения. Для математического описания текстур используются два основных подхода – структурный и статистический. Рассмотрены три основных способа сегментации изображений: пороговая сегментация, сегментация путем наращивания областей и сегментация путем выделения границ. Обзор существующих методов сегментации текстурных областей изображений позволяет сформулировать требования к алгоритмам обработки изображений для оперативной обработки визуальных данных в системах аэрокосмического мониторинга.*

**Ключевые слова:** изображение; текстура, пиксель; аэрофотоизображение; цифровая матрица; модели текстур; сегментация; гистограмма.

Автоматизированная обработка изображений земной поверхности позволяет эффективно решать научные и прикладные задачи в области картографии, исследования природной среды, океанологии, поиска и освоения полезных ископаемых, сельского и лесного хозяйства и многих других областях. Например, тематическая классификация почвенно-растительного покрова по материалам аэрокосмической съёмки является необходимым этапом большинства задач ландшафтно-экологического картографирования. Автоматический анализ изображений наблюдения широко применяется в системах дистанционного зондирования при анализе местности, в лесном хозяйстве, например, для автоматического подсчета площади вырубок, для наблюдения за созреванием урожая, при разведке, в системах противопожарной безопасности, проведении воздушного мониторинга окружающей среды [1].

Воздушный мониторинг окружающей среды – регулярные, выполняемые по заданной программе наблюдения природных сред, природных ресурсов, растительного и животного мира. Современный термин «мониторинг» обозначает систематическое наблюдение, анализ и оценку состояния окружающей среды, её изменение в ходе естественной эволюции и хозяйственной деятельности человека, а также прогнозирование

этих изменений для целей управления и контроля. Объектом мониторинга являются природные и антропогенные экосистемы подстилающей поверхности Земли, состояние аэрозольных и облачных полей атмосферы [2].

Использование изображений воздушного мониторинга (далее аэрофотоснимков, аэроснимков, аэрофотоизображений) в различных сферах деятельности человека ставит задачи не только по созданию средств и способов их получения, но и по разработке и применению новых методов и алгоритмов для компьютерной обработки изображений, приведения их к виду, удобному для анализа.

Одной из задач, обеспечивающих извлечение из изображений воздушного мониторинга полезной информации, является задача сегментации или выделения однородных областей природных объектов.

**Анализ литературных источников и постановка задачи исследования.**

Под цифровым аэрофотоизображением будем понимать двумерное цифровое фотографическое изображение отображающее данные, необходимые пользователю. Цифровые аэрофотоизображения формируются при регистрации сканирующими системами с аэроносителей.

Для каждой единицы площади аналогового изображения рассчитывается средняя плотность затенения и ставится соответствующее этой плотности числовое значение. Результатом такой операции является цифровая матрица. Далее цифровая матрица на дисплее преобразуется в видимые элементы изображения - пиксели. Таким образом, видимое изображение складывается из отдельных пикселей, окрашенных в тона шкалы цвета в соответствии с приданными им числовыми значениями.

Пиксель цифрового изображения является оптически однородным и внутри его отдельные элементы не выделяются [3]. Геометрические размеры цифрового изображения ограничены характеристиками формирующей системы и параметрами фоторегистрирующей.

Анализ литературы [1, 4, 5, 6] показал, что с точки зрения математического представления цифровое

изображение – это двумерная функция  $f(x, y)$ , где  $x$  и  $y$  – пространственные координаты, а  $f$  – яркость для каждой пары координат  $(x, y)$ , которая также называется интенсивностью или цветом изображения в точке с этими координатами [7].

Цифровое изображение  $f(x, y)$  представляется в виде матрицы размерами  $M \times N$  [8]. Значения  $(x, y)$  являются дискретными величинами. Для удобства и ясности значения координат принимаются целочисленными. За начало координат принимается верхний левый угол изображения, координатами которого служит пара  $(x, y) = (0, 0)$ . Следующая точка в первой строке изображения имеет координаты  $(x, y) = (0, 1)$ , причем  $x \in [0, N - 1], y \in [0, M - 1]$ , как показано на рис. 1.

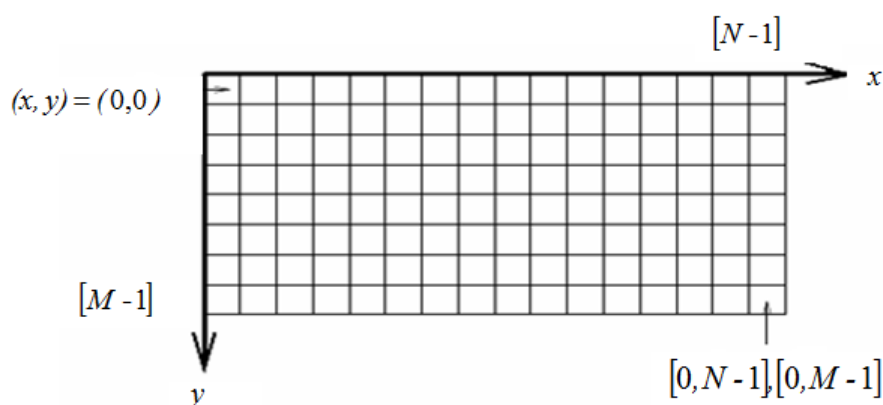


Рис. 1. Представление аэрофотоизображений в системе координат

Исходя из вышесказанного, математическая модель цифрового аэрофотоизображения имеет вид (1):

$$f(x, y) = \begin{pmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{pmatrix} \quad (1)$$

Такое представление цифровых снимков используется в датчиках изображений – сканерах авиационного и космического базирования [8].

**Модель текстурного изображения.**

В [9] под текстурой понимают «пространственную организацию элементов в пределах некоторого участка поверхности». В приведенном исследовании объясняется, что эта организация обусловлена определенным статистическим распределением интенсивности серых тонов или тонов различного цвета. Участок может считаться текстурным, если количество отмечаемых на нем перепадов интенсивности или изменений цвета достаточно велико. Дадим определение текстур, разделяя их следующим образом:

- по происхождению: искусственные – графические знаки и узоры, расположенные на нейтральном поле, и естественные – песок, вода, трава, лес, срезы дерева;
- по структуре поверхности: структурные, состоящие из геометрически правильных повторяющихся

элементов, и стохастические, сформированные преобразованием последовательности коррелированных случайных чисел в соответствии с определенными алгоритмами и относительным размерам элементов текстуры: мелкозернистые и крупнозернистые;

– по форме элементов текстуры: волнистые, пятнистые, неправильные, линейчатые и т.д.

В общем понимании моделью изображения является комплекс характеристик, описывающих распределение яркости на плоскости, которыми аппроксимируется рассматриваемый класс изображений. Модель должна удовлетворять противоречивым требованиям достаточной близости к реальным изображениям и простоты теоретического анализа. При разработке модели существенное значение имеет также степень общности результатов, которые могут быть получены при ее использовании. В зависимости от того, какое из требований приобретает большее значение, используют ту или иную модель изображения различной степени сложности.

Существующие модели текстур делят на структурные, статистические и спектральные [9]. Статистические модели текстур оценивают наличие или отсутствие пространственного взаимодействия между производными элементами текстуры. Под производными элементами понимаются области изображения с определенным изменением значений интенсивности.

Спектральные модели текстур выражают каждый из фрагментов текстуры в некоторой новой системе координат, базисные векторы которой интерпретируются в терминах пространственной частоты или других параметров описания текстуры.

Структурные модели текстур основаны на предположении, что текстура составлена из регулярно или почти регулярно распределенных по пространству непроектируемых элементов. Предполагается, что изображение включает несколько областей, текстурные различия которых обусловлены изменением типа или пространственной организации непроектируемых элементов. Структурные модели текстур позволяют представить упорядоченные текстуры, которые по уровню сложности целесообразно разделить на равномерные и неравномерные. Равномерные текстуры характеризуются совокупностью равноотстоящих непроектируемых элементов, идентичных по форме и ориентации. Для неравномерных текстур непроектируемые элементы в пределах текстурно-однородных областей изображения могут содержать случайные изменения координат их пространственного положения, ориентации и искажения формы.

Для математического описания текстур используются два основных подхода – структурный и статистический [10]. Первый подход описывает базовые области текстур и пространственные связи между ними, что хорошо подходит для описания искусственных и регулярных текстур. Во втором подходе в качестве описания текстуры используется количественное и статистическое распределение значений интенсивности пикселей в области изображения. Такой подход более подходит для описания реальных текстур.

Тектурные математические модели обычно применяются для воспроизводства внешнего вида текстуры. Натуральные текстуры проявляют локальные свойства, которые обычно можно моделировать случайными процессами, хотя с других точек зрения эти характеристики далеко не случайны. Ниже приведено краткое описание наиболее часто встречаемых в литературе текстурных моделей.

Time-series модель рассматривает периодичность в пространственном сканировании изображения. В процессе сканирования, каждый последующий пиксель определяется на основе предшествующих. Тектурное поле моделируется построчно, пиксель за пикселем, пока все строки не будут заполнены. Недостатком такой модели является то, что она плохо описывает структуру текстуры в направлении (направлениях) перпендикулярных сканированию.

Для моделирования натуральных ячеистых текстур используется ячеистая модель. Моделирование происходит в два этапа. На первом текстурное поле

разделяется на некоторое количество ячеек и для каждой из них вычисляется центр инерции (ядро). На втором этапе происходит последовательное сканирование изображения и сравнения расстояния от точки до всех центров инерции. В результате пиксель назначается в группу, соответствующую ближайшему ядру.

Проведенные эксперименты показали хорошее визуальное сходство смоделированной текстуры с натуральной ячеистой текстурой. Синтаксические текстурные модели сравнивают символы формальной грамматики со структурными примитивами текстуры. Для моделирования текстур были расширены и переработаны ряд правил грамматики применительно к теории вероятности. Синтаксические модели применяются для описания сильно структурированных текстур. Двумерная модель случайного марковского поля рассматривает условные вероятности яркостей на элементарном текстурном образце. Марковские свойства модифицируются определением переходной вероятности на окрестности смежных или несмежных точек.

#### **Исследование методов сегментации областей изображений в системах воздушного мониторинга.**

Одним из самых распространенных методов выделения объектов в системах оперативного анализа данных является сегментация [11]. Под сегментацией, в широком смысле, понимают преобразование полутоновых или цветных изображений в изображения, имеющие меньшее число тонов или цветов, чем исходные. Целью сегментации является выделение областей (сегментов), однородных в каком-то определенном смысле. Однородность является признаком принадлежности области к определенному классу.

Применяются три основных способа сегментации изображений: пороговая сегментация, сегментация путем наращивания областей, сегментация путем выделения границ. Пороговая сегментация состоит в объединении близких по характеристикам областей изображения в небольшое число сегментов. Если яркость превышает порог, то область относят к одному сегменту, если она ниже порога – то к другому. Простейший случай – разбиение на два сегмента (бинаризация). Пороговая сегментация может выполняться на основе априорно заданных порогов. Другой, более адекватный, способ заключается в том, что пороги выбираются как границы мод гистограммы изображения. Примером является бинаризации полутонового изображения, у которого гистограмма содержит две моды. Этот случай типичен для задачи выделения площадей, покрытых снегом и льдом, на фоне леса и оттаявшей земли по результатам дистанционных исследований (рис. 2 а – исходное изображение).

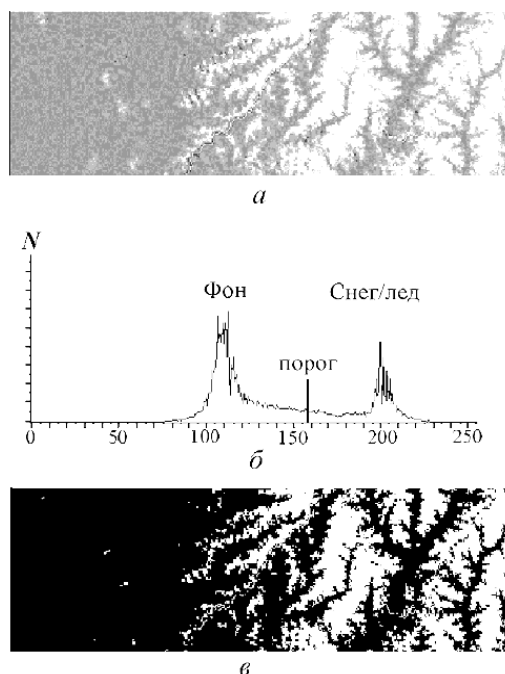


Рис. 2. Пороговая сегментация

Гистограмма изображения (рис. 2 б) имеет две моды – одна отвечает более темному фону, вторая – объектам с большей яркостью, т. е. снегу/льду, между модами видна зона минимума. Моды перекрываются слабо, порог выбран посередине зоны между максимумами мод. Бинаризованное изображение показано на рис. 2 в.

Таким образом, относительно яркости текущего пикселя  $f$  может быть принято два решения:  $d = 1$  или  $d = 2$ , соответствующих отнесению  $f$  к первой либо ко второй области. Пусть  $d = 1$  соответствует яркости  $f < b$ ,  $d = 2$  соответствует яркости  $f > b$ , где  $b$  – порог яркости.

Решающее правило  $d(2)$ , которое минимизировало бы функцию

$$c(i, d) = c_{11}p_{11} + c_{12}p_{12} + c_{21}p_{21} + c_{22}p_{22} \quad (2)$$

где  $p_{ij}$  – вероятность принятия решения  $j$ , если  $f$  принадлежит  $U_i$ .

Для учета возможных ошибок введена функция потерь  $c(i, d)$ , представляющая собой количественную меру потерь, возникающих при принятии решения  $d$ , если на самом деле  $f$  принадлежит классу  $U_1$ . Функцию  $c(i, d)$  иногда также называют функцией (или матрицей) штрафов (штрафной функцией) или функцией риска. В случае двух классов функция потерь принимает 4 значения:  $c_{11}$  отвечает случаю, когда принято решение, что  $f$  принадлежит классу

$U_1$ , если  $f$  действительно принадлежит этому классу;  $c_{22}$  отвечает случаю, когда принято решение, что  $f$  принадлежит классу  $U_2$ , если  $f$  действительно принадлежит этому классу;  $c_{12}$  отвечает ошибочному решению отнесения первого класса ко второму;  $c_{21}$  – отнесению второго класса к первому. Пусть  $p$  – априорная вероятность появления первого класса, тогда вероятность появления второго класса будет  $1 - p$ . Плотность вероятности распределения яркости пикселей первого класса  $w_1(f)$ , второго –  $w_2(f)$ . Плотности вероятности  $w_1(f)$  и  $w_2(f)$  считаются известными или могут быть найдены из гистограммы. Средние суммарные потери записываются в виде (3):

$$c(i, d) = c_{11}p \int_0^b w_1(f)df + c_{12}p \int_b^\infty w_1(f)df + c_{21}(1-p) \int_0^b w_2(f)df + c_{22}(1-p) \int_b^\infty w_2(f)df \quad (3)$$

Величины  $c(i, j)$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, p$ , считаются известными. Неизвестна граница  $b$  (порог) в пространстве признаков  $U$ , разделяющая классы  $U_1$  и  $U_2$ . Оптимальное в смысле минимума суммарных средних потерь решающее правило определяется значением по-

рога  $b$ , при котором  $Q = c(i, d)$  имеет минимум. Это значение можно найти из условия  $dQ/db = 0$ , т. е.

$$\Delta Q/db = (c_{11} - c_{12})pw_1(b) + (c_{11} + c_{12})p + (c_{21} - c_{22})(1-p)w_2(b) + (c_{21} + c_{22})(1-p) = 0 \quad (4)$$

Отсюда получаем уравнение для определения порога (5):

$$\Delta(b) = \Delta c = w_2(b)/w_1(b) = p(c_{11} - c_{12}) / ((1-p)(c_{22} - c_{21})) \quad (5)$$

Решив это уравнение, получим оптимальное в смысле минимума средних потерь значение граничного порога  $b$ . Величина  $\Lambda(f) = w_2(f)/w_1(f)$  называется отношением правдоподобия, а величина  $\Lambda_c =$

$$\Lambda_c = p(c_{11} - c_{12}) / (1-p)(c_{22} - c_{21}) \quad (6)$$

Отношение правдоподобия сравнивается с  $\Lambda_c$ , решающее правило, соответствующее минимуму средних потерь, имеет вид (7):

$$\begin{cases} \Lambda(f) > \Lambda_c \geq d = 2 \\ \Lambda(f) > \Lambda_c \geq d = 1 \\ \Lambda(f) > \Lambda_c \geq \text{граница} \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} f > b \geq d = 2 \\ f > b \geq d = 1 \\ f > b \geq \text{граница} \end{cases} \quad (7)$$

В случае, когда число классов больше двух, исходное множество  $U$  последовательным делением на два подмножества разбивают на необходимое число классов. Сначала выделяют два подмножества первого уровня  $U_1$  и  $U_2$ :  $U_1 \cup U_2 = U$ ,  $U_1 \cap U_2 = \emptyset$ .

Затем  $U_1$  и  $U_2$  также разбивают на два подмножества второго уровня  $U_{11}$ ,  $U_{12}$ ,  $U_{21}$  и

$$U_{22}: U_{11} \cup U_{12} = U_1,$$

$$U_{11} \cap U_{12} = \emptyset, U_{21} \cup U_{22} = U_2,$$

$$U_{21} \cap U_{22} = \emptyset \text{ и т. д.}$$

Процесс принятия решения при этом также сводится к последовательному отнесению  $f$  к одному из двух классов текущего уровня, т.е. реализуется метод последовательных дихотомий. В способе сегментации путем наращивания областей выделяются однородные области.

Рассмотрим сегментацию путем наращивания областей с использованием критерия однородности по величине вектора яркости. Схема алгоритма этого метода предусматривает выбор стартового пикселя и

$$F(R) = \max_{(i,j) \in R} f_{ij} - \min_{(k,m) \in R} f_{km} \quad (8)$$

либо выборочные дисперсии (9):

$$F(R) = 1/n \sum_{(i,j) \in R} \left( f_{ij} - 1/n \sum_{(k,m) \in R} f_{km} \right)^2, \quad (9)$$

где  $n$  – площадь (число пикселей) области  $R$ .

При обработке многоспектральных данных дистанционного зондирования в качестве  $F(R)$  обычно

$$F(R) = [A_1(f_{1ij} - f_{1km})^2 + A_2(f_{2ij} - f_{2km})^2 + A_3(f_{3ij} - f_{3km})^2 + \dots] / 2 \quad (10)$$

Здесь  $f_{1ij}$  – яркость  $(i,j)$ -го пикселя в первом канале,  $f_{2ij}$  – яркость во втором канале и т. д.;  $A_k$  – весовые коэффициенты, учитывающие зависимость яркостей объектов в каналах; ниже в примере  $A_k = 1$  для всех  $k$ .

В более сложных вариантах метода сегментации путем наращивания областей могут быть использованы скалярные характеристики текстурной матрицы. В некоторых случаях одним из показателей однородности может служить след текстурной матрицы.

#### Выводы.

$w_2(b)/w_1(b)$  – критическим значением отношения правдоподобия. Критическое значение определяется из соотношения (6):

рассмотрение смежных с ним пикселей для проверки близости их значений, например, по евклидову расстоянию. Если значения яркости текущего и какого-либо смежного пикселя оказываются близкими, то эти пиксели зачисляются в одну область. Таким образом, область формируется в результате сращивания отдельных пикселей. На следующем этапе область проверяется на однородность и, если результат проверки оказывается отрицательным, то область разбивается на более мелкие участки. Процесс продолжается до тех пор, пока все выделенные области не выдержат проверку на однородность. Возможны реализации алгоритма, использующие формирование областей, как сращиванием отдельных пикселей, так и сращиванием небольших областей.

Общая схема проверки области на однородность состоит в следующем. Пусть  $F(R)$  – заданная мера однородности области  $R$ . Если  $R12 = R1 \cap R2$ , то критерий однородности можно задать, потребовав, чтобы выполнялось условие  $F(R12) \leq \epsilon$ ,  $\epsilon$  – заданный порог. Различные алгоритмы сегментации классифицируются по виду меры  $F(R)$ . В самых простых случаях в качестве  $F$  могут использоваться величины размаха (8):

выбирают расстояние между пикселями в пространстве яркостей в спектральных каналах по метрике Евклида (10):

В результате проведенных исследований рассмотрены основные подходы к решению задачи сегментации изображений, полученных на основе технологии аэрофотосъемки. Рассмотрены методы сегментации оцифрованных изображений: пороговая сегментация, сегментация путем наращивания областей и сегментация путем выделения границ. Пороговая сегментация состоит в объединении близких по характеристикам областей изображения в небольшое число сегментов. Особенностью предлагаемого в статье подхода является введение функции потерь, представляющей собой количественную меру, при принятии ре-



шения. Сегментация путем выделения границ предусматривает использование оператора градиента. Для установления факта, что действительно обнаружена граница, применяется процедура разделения по порогу. Пиксели, идентифицированные как граничные, соединяются в замкнутые кривые, окружающие соответствующие области. В этом методе, как и в других методах сегментации, существенным является критерий однородности области, по характеристике которой и вычисляются значения градиента. Прямые методы сегментации путем выделения границ предусматривают применение к исходному изображению градиентных фильтров (Робертса, Собела, Лапласа и др.).

Задача построения границ сегментов на изображении градиента выступает в качестве самостоятельной и может быть решена лишь в самых простейших случаях. Например, можно выделять локальные максимумы градиента всех строк и столбцов изображения. Для границ простой формы может быть использована процедура аппроксимации исходного изображения градиента параметрической функцией.

Проведенный анализ методов сегментации изображений позволяет сформировать требования к множеству признаков для разработки метода и информационной технологии сегментации текстурных изображений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кашкин В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: [учебное пособие] / В. Б. Кашкин, А. И. Сухинин. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
2. Протасов А. П. Непараметрический алгоритм распознавания объектов подстилающей поверхности земли по данным аэрокосмической съемки / А. П. Протасов, А. И. Рюмкин // Вестник томского государственного университета: Сибгеоинформатика, вып. 275, 2002. – С. 43–46.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: [в 2-х томах]. / У. Прэтт. – М. : Мир, 1982. – Т. 1. – 312 с. – Т. 2 – 480 с.
4. Абламейко С. В. Обработка изображений: технология, методы, применение / С. В. Абламейко, Д. М. Лагуновский. – Минск : Ин-т технической кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 300 с.
5. Визильтер Ю. В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения: курс лекций и практических занятий / Ю. В. Визильтер, С. Ю. Желтов и др. – М. : Физматкнига, 2010. – 672 с.
6. Дворкович А. В. Цифровая обработка телевизионных и компьютерных изображений / А. В. Дворкович, Ю. Б. Зубарев // М. : Международный центр научной и технической информации, 1997. – 212 с.
7. Гонсалес Р. Обработка изображений в среде Matlab / Р. Гонсалес, Р. Вудс, С. Эддинс. – М. : Техносфера, 2006. – 616 с.
8. Gonzalez R. R. Woods Digital Image Processing. Second Edition / R. R. Gonzalez. – Prentice Hall, 2002. – 793 p.
9. Howarth P., S. Ruger. Robust texture features for still image retrieval. In Proc. IEE Vis. Image Signal Processing, vol. 152, No. 6, December 2006.
10. Фисенко В. Т. Компьютерная обработка и распознавание изображений: [учебное пособие] / В. Т. Фисенко, Т. Ю. Фисенко. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.
11. Кашкин В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: [учебное пособие] / В. Б. Кашкин, А. И. Сухинин. – М. : Логос, 2001. – 264 с.

**Т. В. Коваленко,**

Институт проблем реєстрації інформації НАНУ,  
м. Київ, Україна

## МОДЕЛІ І МЕТОДИ ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ТЕКСТУРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ В СИСТЕМАХ АЕРОКОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

*Дистанційне зондування земної поверхні забезпечує унікальні можливості оперативного збору даних з високою просторовою, спектральною і часовою доздільною здатністю. Автоматизована обробка зображень земної поверхні дозволяє ефективно вирішувати наукові та прикладні завдання в області картографії, дослідження природного середовища, океанології, пошуку і освоєння корисних копалин, сільського та лісового господарства і в багатьох інших областях. У статті розглядаються моделі і методи опису цифрових текстурних зображень. Проведено огляд сучасного стану автоматизованої обробки зображень в системах повітряного моніторингу. Дано визначення моделі текстурного зображення. Для математичного опису текстур використовуються два основні підходи – структурний і статистичний. Розглянуто три основних способи сегментації зображень: порогова сегментація, сегментація шляхом нарощування областей і сегментація шляхом виділення меж. Огляд існуючих методів сегментації текстур областей зображень дозволяє сформулювати вимоги до алгоритмів обробки зображень для оперативного опрацювання візуальних даних в системах аерокосмічного моніторингу.*

**Ключові слова:** зображення; текстура; піксель; аерофотозображення; цифрова матриця; моделі текстур; сегментація; гістограма.

**T. V. Kovalenko,**

Institute for Information Recording NAS of Ukraine,  
Kyiv, Ukraine

## MODELS AND METHODS PROCESSING OF DIGITAL TEXTURAL IMAGES IN AEROSPACE MONITORING SYSTEMS

*Remote sensing of the land surface provides unique opportunities of operational data collection with high spatial, spectral and temporal resolution, which defines the great information opportunities of such systems. Automated image processing of the land surface allows to solve effectively scientific and applied problems in the field of cartography, research of the natural environment, oceanology, mineral exploration and development, agriculture and forestry and many other areas. For example, the thematic classification of a soil and vegetable cover by aerospace shooting data is a necessary stage of most tasks for landscape and ecological mapping.*

*Models and methods of the description of digital textural images are considered in article. The current state of automated image processing in air monitoring systems is reviewed. The concept of a model of a textural image is defined. There are two main methods – structural and statistical which used for the mathematical description of textures. The first approach describes basic areas of textures and spatial relationships between them that well is suitable for describing artificial and regular textures. In the second approach, the quantitative and statistical distribution of pixel intensity values in the image area is used as the texture description. Three main ways of image segmentation are considered in the article: threshold segmentation, segmentation by scaling up areas and segmentation by distinguish boundaries. Threshold segmentation consists in combining the image areas close in characteristics into a small number of segments. If brightness exceeds threshold, then area belongs to one segment, if it is below than threshold - to another. The review of existing methods of segmentation of textural image areas allowed to formulate requirements for image processing algorithms for the operative processing of visual data in aerospace monitoring systems.*

**Key words:** *image; texture; pixel; aerial image; digital matrix; texture models; segmentation; histogram.*

**Рецензенти:** Д. Т. Н., проф. **М. Т. Фісун;**  
Д. П. Н., проф. **О. П. Мещанінов.**

© Коваленко Т. В., 2016

Дата надходження статті до редколегії 28.09.16

**Куценко С. В.,**  
канд. техн. наук, доцент,  
Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля,  
kutsenkos@ukr.net,  
м. Черкаси, Україна,  
**Бакарджисв Р. О.,**  
канд. техн. наук, доцент,  
Таврійський державний агротехнологічний університет,  
м. Мелітополь, Україна,  
brom@ukr.net  
**Корецька О. О.,**  
аспірант,  
ЧНУ ім. Петра Могили,  
м. Миколаїв, Україна,  
alhimik1968@mail.ru  
**Мусієнко М. П.,**  
д-р техн. н., професор,  
ЧНУ ім. Петра Могили,  
м. Миколаїв, Україна,  
musienko2001@ukr.net

---

## **МЕТОД РОЗМІЩЕННЯ СПОВІЩУВАЧІВ ПРОВІДНО-БЕЗПРОВІДНОЇ СИСТЕМИ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ВСЕРЕДЕНІ БУДІВЛІ**

*У статті розглянутий розроблений метод розміщення пожежних сповіщувачів всередині будівлі для побудови ефективних провідно-безпровідних пожежних сигналізацій. Розроблено програмний продукт, в якому реалізовані отримані положення. Проведені підрахунки, які показали вираш у зменшенні кількості модулів при застосуванні запропонованого методу розміщення пожежних сповіщувачів.*

**Ключові слова:** пожежний сповіщувач; стельові та настінні сповіщувачі; провідний та безпровідний зв'язок.

### **Вступ.**

Забезпечення ефективної пожежної безпеки об'єктів і територій вимагає рішення цілого комплексу задач, що пов'язані як з участю людини, так і з наявністю автоматизованих систем охоронно-пожежної безпеки. Останнім часом на ринку надання послуг пожежного захисту запропоновано безліч рішень, що істотно відрізняються як апаратним забезпеченням, так і функціональними можливостями комплексів, а, відповідно, і вартістю.

В системі пожежної сигналізації всередині будівель важливою складовою є пожежні сповіщувачі (теплові, димові, іонізаційні, полум'я тощо). Більш ефективним є рішення застосування кількох таких сповіщувачів, які об'єднують у локальну мережу. В такому випадку одним з головних питань є фізична природа передачі інформації в мережі, яка може бути як провідною так і безпровідною. Останнім часом широкого розповсюдження набувають мережі другого типу: безпровідні. Вони мають багато переваг у порівнянні з провідними, серед яких висока швид-

кість розгортання мережі і встановлення сповіщувачів, систем контролю і виконавчих механізмів, низька вартість робіт по монтажу устаткування, легка реконфігурація тощо [1, 2]. В якості прикладу безпровідних систем пожежної охорони можна назвати такі системи, що представлені на ринку України: ПЦН GSM-900/1800 серії «Орлан» (Україна), ППКП серії «Макс» (Україна), системи фірми Satel (Польща) тощо. Проте наявність багатьох проблемних питань вимагає постійне вдосконалення таких систем.

### **Аналіз літературних даних та постановка проблеми.**

При побудові безпровідних систем виникає чимало важливих технічних питань, які потребують вирішення: вибір типу безпровідної технології передачі даних, забезпечення завадостійкості, гарантований зв'язок між передавачами мережі для надійної передачі інформації тощо [1].

Питання вибору типу безпровідної технології передачі розглянуто авторами в роботах [1, 2]. На основі проведеного аналізу різних типів технологій авторами

запропоновано застосування декількох технологій, однією з яких є популярна сьогодні технологія ZigBee [3]. Це порівняно нова технологія яка має наступні переваги, що є суттєвими для побудови безпроводних пожежних сигналізацій всередині будівель:

- низьке енергоспоживання, що дозволяє автономно працювати модулю від батарейки впродовж кількох років;
- велика кількість модулів у мережі (до 65536 одиниць);
- робота на частоті 2,4 ГГц, що не потребує отримання дозволу на використання частоти;
- відносно низька, у порівнянні з модулями інших безпроводних технологій, вартість передавачів;
- відносно велика кількість аналого-цифрових входів/виходів у модулів, що дозволяє здешевлювати загальну вартість мережі або дублювати або суміщати кілька типів сповіщувачів для підвищення надійності мережі.

Другим важливим питанням, яке розглядається при побудові пожежних сигналізацій всередині будівель – є гарантований зв'язок між передавачами мережі. Для його забезпечення необхідно витримати дві умови [1]:

- підібрати необхідну відстань між передавачами (не надто маленьку, що не збільшити кількість елементів мережі, і не велику, щоб забезпечити надійний зв'язок);
- розмістити у місці, де були б відсутні спотворення сигналу передачі даних (зниження сигналу через дифракції, інтерференції тощо).

Для цього необхідно правильно обрати метод та модель каналів зв'язку всередині приміщень. Дані питання були детально досліджені в роботах [4–6] та в багатьох інших наукових працях відомих вчених.

Не менш важливим питанням є розміщення пожежних сповіщувачів (ПС). Існує кілька методів розміщення, основні з яких розглянуті в роботі [7]. Визначення розмірів і параметрів розміщення чітко визначено нормами. Проте вимоги визначаються окремо для стельових або настінних сповіщувачів та оповіщувачів. У провідних пожежних сигналізаціях системи ПС приєднуються до приймально-передавального пристрою кожна через свою систем провідних ліній. Так як в роботі безпроводних пожежних сигналізацій всі елементи пов'язані між собою безпроводною мережею, то з'являється можливість об'єднати в одну мережу як стельові, так і настінні ПС. Крім цього, при близькому розташуванні двох модулів економічно доцільно замінити безпроводний зв'язок цих модулів провідним. Таке рішення потребує розробки нової системи оптимальної побудови провідно-безпроводної системи сигналізації.

Таким чином, **метою роботи** є розробка методу розміщення пожежних сповіщувачів всередині будівлі для побудови ефективних провідно-безпроводних пожежних сигналізацій.

#### Результати досліджень.

В якості елементів (передавачів) локальної мережі пожежної сигналізації розглядаються наступні компоненти:

- пожежні сповіщувачі на стелі (теплові та димові);
- пожежні сповіщувачі на стіні (ручні та димові лінійні);
- пожежні сповіщувачі полум'я, які розміщуються над джерелом вогню (можуть опинитися в будь-якій точці об'єму приміщення);
- різні типи пожежних оповіщувачів;
- один з приймально-передавального пристрою, який розміщується у пожежному приймально-контрольному приладі (наприклад, на столі).

Висоти розміщення елементів, можливі максимальні відстані між ними та інші геометричні умови до їх розміщення регламентуються відповідними стандартами.

Розглянемо випадок розміщення двох найбільш вживаних типів ПС:

- стельові ПС, які розташовуються на стелі (найчастіше теплові і димові);
- настінні ПС (НП), які встановлюють на стіні (найчастіше це ручні пожежні сповіщувачі, але іноді встановлюють також і димові лінійні сповіщувачі).

Тут слід розрізнити два завдання:

- поетапна побудова єдиної мережі: в першу чергу будуватися мережу на стелі, а потім до неї додається мережа НП;
- одночасне побудова всієї мережі.

Розглянемо детальніше обидва випадки.

Поетапна побудова єдиної мережі починається з оптимального розміщення стельових ПС. Головними завданнями для цього є визначення точок мережі, в яких розміщуються бездротові радіомодулі, а також визначення дротового та бездротового з'єднання [3].

Для вирішення цього завдання початковими даними є максимально можлива довжина провідного зв'язку  $D$ , множина точок розміщення радіо модулів  $K = \{k_1 \dots k_n\}$ , множина точок, в яких немає радіомодулів, тобто в яких ПС з'єднуються провідним зв'язком із радіомодулем:  $R = \{r_1 \dots r_m\}$ , відстані між ПС та радіомодулем  $d(k, r)$ . У завданні стає задача знайти множину  $S \subseteq K$  мінімальної потужності, при цьому для кожного  $r \in R$  повинен існувати хоч би один  $s \in S$  такий, що  $d(s, r) \leq D$ . Для розв'язку задачі є наступні початкові дані:

$A = \{1, \dots, m\}$  – множина точок ПС;

$B = \{1, \dots, n\}$  – множина потенційних точок розміщення радіомодулів;

$n_b \in N$  – максимальна кількість ПС, що може під'єднуватися до радіомодуля в точці  $b$  (визначається апаратними можливостями радіомодулів);

$D \geq 0$  – радіус покриття точки  $x$ ;

$d(b, a) \geq 0$  – відстань між ПС та радіомодулем.

Призначаються значення змінним: при рішенні розмістити радіомодуль в точці  $b$  і під'єднати до нього ПС  $a$ :  $j_{ab} = 1$ ; при рішенні не з'єднувати ПС  $a$  і радіомодуль  $b$ :  $j_{ab} = 0$ . Таким чином, отримується матриця значень:

$$\mathbf{J} = [j_{ab}]_{\substack{a=1 \dots m, \\ b=1 \dots n}}$$

Вводяться функції:  $H_b(\mathbf{J}) = \sum_{a=1}^m j_{ab}$  та  $F_a(\mathbf{J}) = \sum_{b=1}^n j_{ab}$ .

Для рішення задачі вводиться функція  $q_b$ , яка приймає значення «1», якщо  $H_b(J) \geq 1$ , та «0», якщо  $H_b(J) = 0$ .

В задачі знаходяться такі рішення для  $J_{ab}$ , при яких виконується:

$$\min \sum_{b=1}^n q_b$$

при обмеженнях, що визначає з'єднання кожного ПС із радіомодулем:

$$F_a(J) = 1; \forall a, \quad (1)$$

що обмежує кількість ПС, що можуть бути під'єднаними до окремого радіомодуля:

$$H_b(J) \leq n_b; \forall b, \quad (2)$$

та обмеженні відстані провідного з'єднання ПС із радіо модулем:

$$d(a,b) j_{ab} \leq D; \forall (a,b). \quad (3)$$

Для додавання мережі НП початковими умовами повинні бути точки (зони) їх можливого розташування. Враховуючи, що НП розташовуються не довільно порядком, а з урахуванням багатьох ергономічних вимог, можна говорити про наявність дискретного простору можливих рішень розташування НП. Відхилення розташування НП в сторони на десятки сантиметрів і навіть метр-півтора не внесе жодних істотних змін у модель, тому область можливого розташування в межах невеликої зони можна розглядати на моделі як точку.

З огляду на той факт, що з одного боку НП має бути якомога менше (для здешевлення всієї пожежної сигналізації), а з іншого має виконуватися відповідні норми, при якому відстань між НП має бути не більше чітко встановленого значення, то рішенням завдання побудови єдиної спільної мережі буде оптимізаційна задача при заданих обмеженнях.

Таким чином, для поетапної побудова єдиної мережі, коли спочатку будується мережа на стелі, а потім до неї додається мережа ПС на стінах початковими даними для побудови мережі є:

$B = \{1, \dots, n\}$  – множина точок розміщення радіомодулів із стельовими ПС;

$R = \{1, \dots, m\}$  – множина можливих точок розміщення ПС;

$n_b^r \in N'$  – максимальна кількість ПС, що може під'єднуватися до радіомодуля  $b$ ;

$D_r$  – максимально можлива довжина провідного з'єднання для ПС  $r$ ;

$W_r$  – максимально можлива довжина безпроводного з'єднання для ПС  $r$ ;

$T$  – максимальна відстань між ПС на стінах;

$d(b, r)$  – довжина дротового з'єднання між ПС та радіомодулем;

$w(b, r)$  – відстань між радіо модулем та ПС (найменша геометрична відстань між двома точками).

Для вирішення завдання розміщення створюється набір підмножин, що задовольняє умовам  $d(b,r) \leq D_r \cap w(b,r) \leq W_r$ , тобто утворюється множина можливих рішень  $Y_R = \{(r, d(f, r), w(f, r))\}$ , де  $f$  – найближча до  $r$  точка розміщення радіомодуля на стелі.

Розв'язком оптимізаційної задачі буде така топологія мережі з множини  $Y_R$ , яка задовольняє умові:

$$\min r, \min(\max(d(f, r))),$$

$$\min(\max(w(f, r))).$$

Відбір по вказаних критеріях відбувається послідовно зліва направо, при обмеженні

$$r_i - r_{i+1} < T; \forall r,$$

що дозволяє не порушувати вимоги норм про максимальну відстань між двома сусідніми настінними ПС.

При цьому залишаються обмеження (1) – (3), тільки індекс "a" замінюється індексом "r", а значення  $n_b$  на значення  $n_b^r$ .

У другому випадку – при одночасному розміщенні ПС, об'ємна модель перетворюється в площинну (рис. 1) і відбувається розв'язання запропонованої вище задачі при розміщенні стельових ПС і модулів з урахуванням додаткових вхідних даних і обмежень. При цьому необхідно врахувати зміни відстаней між стельовими та настінними ПС, які відбуваються при переході від об'ємної до площинної моделі.

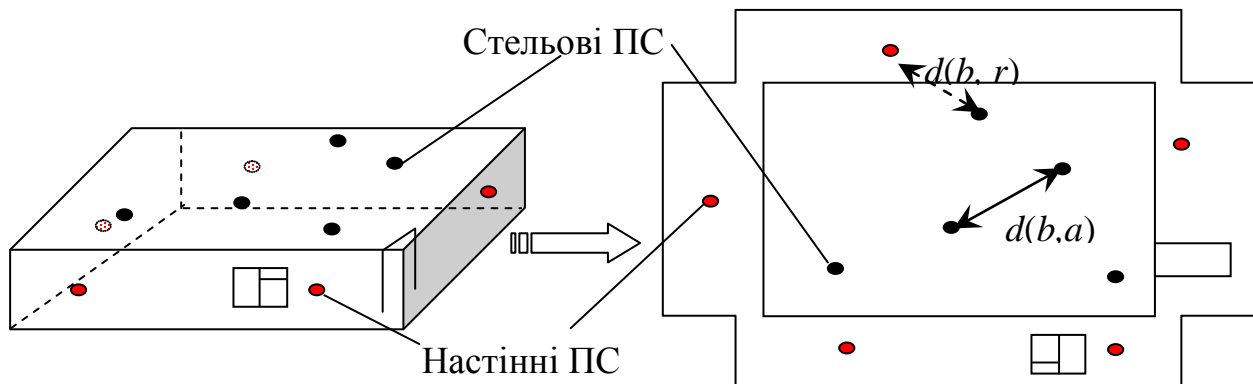


Рис. 1. Перетворення об'ємної моделі в площинну

Для реалізації запропонованого методу розміщення ПС в роботі було розроблене відповідне програмне

забезпечення. Програма створена в середовищі MS Visual Studio за допомогою мови програмування C#.

Головне вікно програми містить поля для введення основних параметрів приміщення, ПС та радіомо-

дуля (показано на прикладі модуля ZigBee – рис. 2).

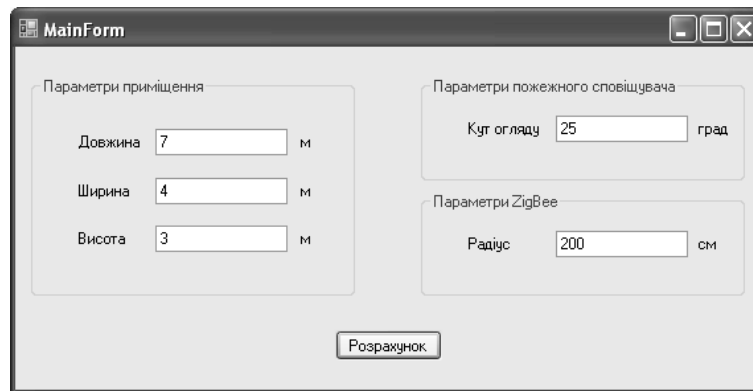


Рис. 2. Поля введення даних програми побудови єдиної мережі ПС

Наступне вікно виводить план приміщення з нанесеними на нього точками розміщення ПС, а також виводить таблицю з координатами точок (рис. 3). На рисунку показаний приклад традиційного розміщення

стельових ПС (по прямокутній схемі) і шістьох можливих точок розташування НС. Крім того, зліва виводиться таблиця координат розміщення ПС.

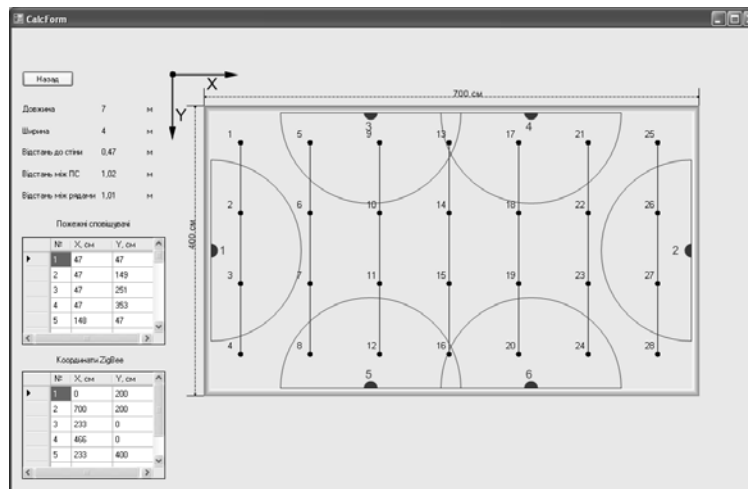


Рис. 3. Вікно програми побудови єдиної мережі ПС

Використання запропонованого методу провідно-безпровідного зв'язку між ПС при спільному розміщенні стельових і настінних ПС дозволяє незначно, але зменшити кількість радіомодулів (за рахунок підключення деякої кількості ПС провідним зв'язком до сусідніх ПС з радіомодулем). Для підрахунку виграшу бралася приміщення 40x40x4 м з 57 ПС [3]: 54 стельовими і трьома настінними ПС. При використанні нового методу отримана схема з 55 модулями – два інших ПС з'єднані провідним зв'язком.

### Висновки.

Таким чином, в роботі розроблений метод розміщення пожежних сповіщувачів всередині будівлі для побудови ефективних провідно-безпровідних пожежних сигналізацій. Розроблено програмний продукт, в якому реалізовані отримані положення. Проведені підрахунки, які показали виграш у зменшенні кількості модулів при застосуванні запропонованого методу розміщення пожежних сповіщувачів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Мусієнко М. П. Моделирование беспроводных локальных сетей пожежних сповіщувачів всередині будівель / М. П. Мусієнко, В. І. Томенко, Д. О. Полоз, С. В. Куценко // Науковий вісник УкрНДІПБ. – № 2(22). – Київ, 2010. – С. 126–130.
2. Мусієнко М. П. Томенко В. И. Выбор беспроводной технологии в автоматизированных системах передачи данных // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси, ЧДТУ. – 2007. – № 3–4. – С. 164–169.

3. Куценко С. В. Модели, методы и компоненты для компьютерных систем пожарных сигнализаций на базе технологии ZigBee: Диссертация канд. техн. наук: 05.13.05. – Черкассы, 2011. – 178 с.
4. Мусієнко М. П. Розрахунок втрат розповсюдження радіохвиль в комунікаційних системах на транспортних засобах / М. П. Мусієнко, В. І. Томенко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2008. – № 1. – С. 122–126.
5. Веселовский К. Системы подвижной радиосвязи / К. Веселовский; пер. с польск. И.Д. Рудинского; под. ред. А. И. Ледовского. – М. : Горячая линия-Телеком, 2006. – 536 с.
6. Куценко С. В. Побудова полісенсорних реконфігурованих пожежно-охоронних систем у приміщеннях на базі технології ZigBee / С. В. Куценко, В. І. Томенко, М. П. Мусієнко, Р. В. Лиходід // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2009. – № 4. – С. 67–70.
7. Деревянко А. А. Применение и эксплуатация приборов пожарной автоматики : [Практическое пособие] [Текст] / А. А. Деревянко, А. А. Антошкин, С. Н. Бондаренко, В. А. Дурев, М. Н. Муринов. – Х. : УГЗУ, 2007. – 205 с.

**С. В. Куценко,**

Черкасский институт пожарной безопасности им. Героев Чернобыля,  
г. Черкассы, Украина,

**Р. А. Бакарджиев,**

Таврический государственный агротехнологический университет,  
г. Мелитополь, Украина,

**А. О. Корецкая,**

Черноморский национальный университет им. Петра Могилы,  
г. Николаев, Украина,

**М. П. Мусиенко,**

Черноморский национальный университет им. Петра Могилы,  
г. Николаев, Украина

## **МЕТОД РАЗМЕЩЕНИЯ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ ПРОВОДНО-БЕСПРОВОДНОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ ВНУТРИ ЗДАНИЯ**

*В статье рассмотрен разработанный метод размещения пожарных извещателей внутри здания для построения эффективных проводно-беспроводных пожарных сигнализаций. Разработан программный продукт, в котором реализованы полученные положения. Проведены подсчеты, которые показали выигрыш в уменьшении количества модулей при применении предложенного метода размещения пожарных извещателей.*

**Ключевые слова:** *пожарный извещатель; потолочные и настенные извещатели; проводная и беспроводная связь.*

**S. Kutsenko,**

Cherkasy Institute of fire safety named heroes of Chernobyl NUCS,  
Cherkassy, Ukraine,

**R. Bakardzhyjev,**

Taurian State Agrotechnological University,  
Melitopol, Ukraine,

**O. Koretska,**

Petro Mohyla Black Sea National University,  
Mykolaiv, Ukraine,

**M. Musiyenko,**

Petro Mohyla Black Sea National University,  
Mykolaiv, Ukraine

## **METHOD OF PLACING THE DETECTORS OF WIRE-WIRELESS FIRE ALARM SYSTEM INSIDE THE BUILDING**

*The article considers the developed method of placing fire detectors inside a building to build efficient wire-wireless fire alarms. The analysis of technical problems arising during the construction of a fire network is analyzed. The issues related to the selection of the necessary equipment are considered. A*

*software product has been developed in which the received provisions are realized. Calculations were carried out, which showed a gain in reducing the number of modules when applying the proposed method for placing fire detectors. An example of the work of a software product is given.*

**Key words:** *fire detector; ceiling and wall detectors; wired and wireless communication.*

**Рецензенти:** д. т. н., проф. **М. Т. Фісун;**  
к. т. н., доц. **І. М. Журавська.**

© Куценко С. В., Бакарджиєв Р. О., Корецька О. О., Мусієнко М. П., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 28.09.16*



## ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ТА СХЕМОТЕХНІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ П'ЄЗОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТУ КОАНДА

*В роботі отримані функціональні і схемотехнічні моделі біморфних п'єзоелементів, які використовуються для визначення ефекту Коанда. Досліджено їх амплітудночасотні, фазочастотні та перехідні характеристики, а також розглянуті реакції на впливи спеціальної форми (згасаючий по експоненті гармонійний сигнал, а також імпульс з крутим переднім і спадаючим по експоненті заднім фронтом).*

**Ключевые слова:** біморфний п'єзоелектричний перетворювач; функціональні та схемотехнічні моделі; амплітудно- та фазочастотні характеристики.

### Вступ.

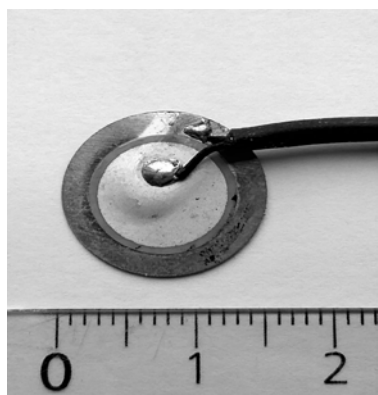
Азимутальна гвинто-рульова колонка, що застосовується з середини минулого століття, дозволила збільшити маневреність судна і знизити втрати енергії за рахунок зміни напрямку упору гвинта щодо поздовжньої вісі судна на 360 [1]. Однак на відміну від звичайних традиційних схем розташування гвинтів в кормі експлуатація АВРК при певних кутах повороту стала супроводжуватися проявом ефекту Коанда, коли потік від гвинта прилипає до днища судна [2]. Це призводить до втрати упору гвинта до 15 %. В результаті втрачається керованість судна або бурової платформи, що призводить до виникнення аварійної ситуації [3]. Тому дослідження, що спрямовані на визначення і попередження виникнення ефекту Коанда є актуальними.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.**

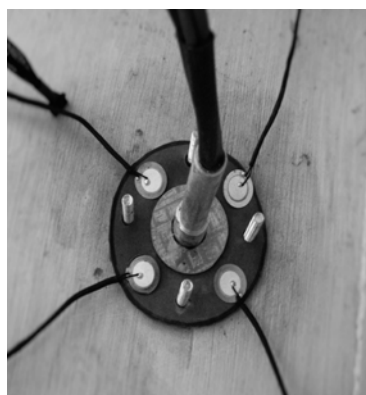
В цьому напрямку проведено ряд робіт [4, 5] компанією «ABB Group» і вченими Maciel P., Коор А.,

Vaz G. Результатом впливу даного ефекту є нерівномірний знос дейдвудного та інших підшипників. Діагностика, планове обслуговування і ремонт даних пристроїв утруднений у зв'язку з конструктивною особливістю знаходження всієї конструкції нижче ватерлінії під днищем судна. У разі несвоєчасного виявлення даних несправностей можливий вихід всього пристрою з ладу, пожежа, втрата керованості і руйнація.

Автором був запропонований метод фіксації відхилення суднового валопроводу під дією зовнішньої сили, яка фіксується за допомогою п'єзодатчика [6–8]. Основна ідея полягає в тому, що при виникненні ефекту Коанда валопровід, що зміщується, сприяє нерівномірного зносу і передчасному виходу з ладу дейдвудного та інших підшипників. Проведений аналіз показав, що з усіх типів датчиків для фіксації сили найкраще підходить п'єзоперетворювач (рис. 1) [9].



а)



б)

**Рис. 1.** П'єзоелемент фірми Cerо Electronics типу MFT (а), та монтаж п'єзоелементів на натурній моделі

В даному випадку важливим питанням постає оптимальний вибір п'єзоелектричного елемента, який задовольнить вимоги по чутливості, надійності та іншим показникам. Дослідження такого вибору п'єзоелементу та режимів його підключення здійснено автором в роботі [9]. Однак проведення натурних експериментів для перевірки гіпотези є дуже коштовним і не завжди дозволяє отримати бажаний результат. Рішенням є комп'ютерне моделювання п'єзоперетворювача для визначення ефекта Коанда.

Отже, метою даної роботи є розробка зручних та ефективних моделей п'єзоелектричних перетворювачів для визначення ефекту Коанда.

**Результати досліджень.**

Для дослідження моделей перетворювачів необхідно враховувати реальні впливи на чутливі елемен-

ти. Найбільш типові впливи, які зустрічаються на практиці при вимірі тиску на п'єзоелемент, – є гармонійні та ударні впливи, а також імпульси з крутим переднім за затухаючим по експоненті заднім фронтом. Слід зазначити, що більшість природних сигналів можна промодельовувати за допомогою зазначених вище сигналів. Гармонійний сигнал може бути промодельований за допомогою джерела синусоїдальної напруги (Sine source) (рис. 2, а), імпульсний – за допомогою незалежного джерела напруги складної форми (EXP) з сигналом експоненційної форми (рис. 2, б).

Деякі форми сигналів, які утворюються при генерації за допомогою генераторів сигналів по рис. 2 показані на рис. 3.

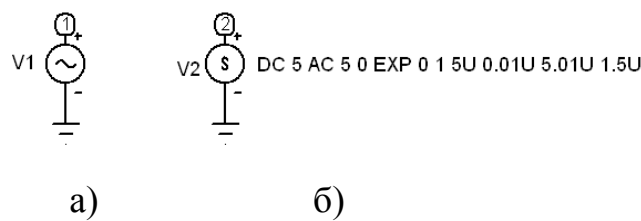


Рис. 2. Генератори сигналів: а – гармонійного, б – імпульсного

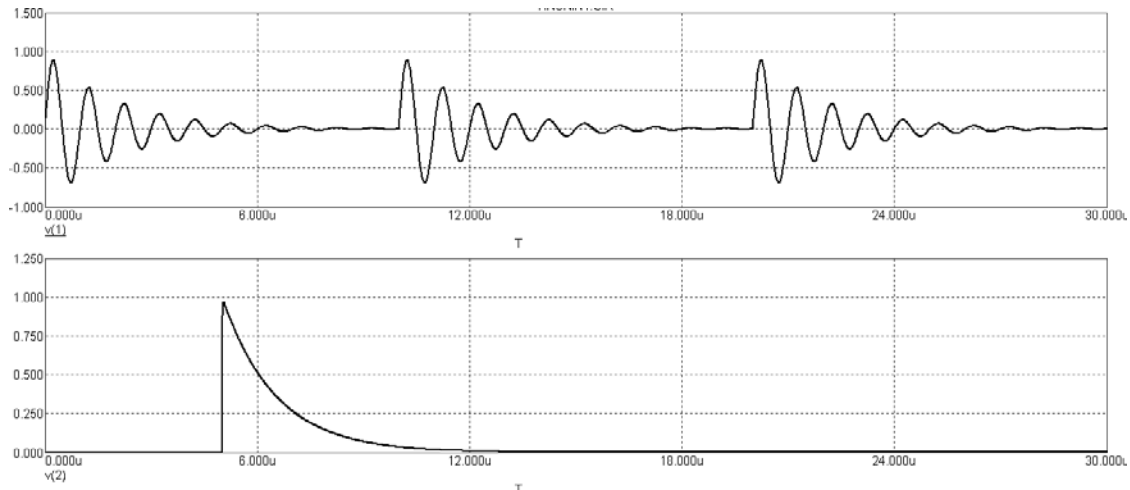


Рис. 3. Форми сигналів, що утворюються при генерації за допомогою генераторів сигналів по рис. 2

Для проведення моделювання необхідно врахувати еквівалентну електричну схему біморфного п'єзоелементу [10], яка показана на рис. 4.

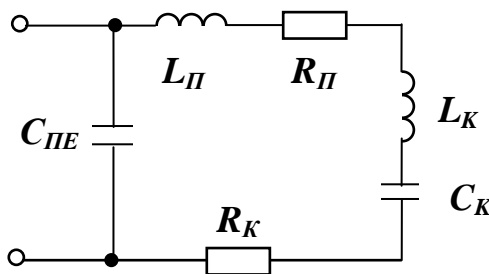


Рис. 4. Еквівалентна схема біморфного п'єзоелемента

На рис. 4  $C_{ПЕ}$  – міжелектродна ємність;  $C_K, L_K, R_K$  – динамічна ємність, індуктивність та опір;  $L_{П}, R_{П}$  – параметри, що описують властивості пластини

Для отримання функціональної моделі розглянемо процеси, які відбуваються у п'єзоелементі під впливом тиску, тобто перетворення сили, що діє на п'єзоелемент, в електричну напругу на електродах

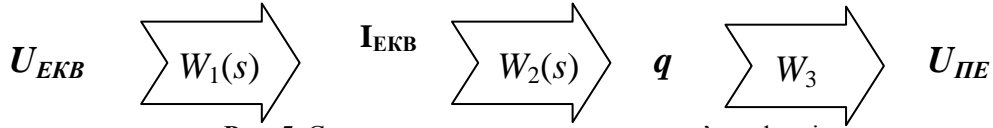


Рис. 5. Схема перетворень при прямому п'єзоєфекті

Перше перетворення описується виразом, що відповідає провідності елемента [11]:

$$Y = j\omega C_{iE} + \frac{\omega^2 C_K^2 R_K + j(1 - \omega^2 C_K L_K)\omega C_K}{(1 - \omega^2 C_K L_K)^2 + \omega^2 C_K^2 R_K^2}$$

Для отримання передаточної функції другого перетворення необхідно врахувати модуль Юнга ( $E$ ) та оператор диференціювання  $s$ , оскільки значення струму отримується диференціюванням значення заряду. Отримуємо:

$$W_2(s) = \frac{q}{I_{\hat{A}\hat{E}\hat{A}}} E = \frac{E}{s}$$

де  $s$  – оператор Лапласа.

Перетворення заряду  $q$  в напругу на електродах п'єзоелемента  $U_{PE}$  може бути описано виразом:

$$W_3 = \frac{U_{iE}}{q} = \frac{1}{C_{iE}}$$

Загальна передаточна функція має вираз:

Функціональна модель п'єзоелемента, що отримана з використанням середовища пакета СхСАПР, зображена на рис. 6.

п'єзоелемента. Для цього скористаємося методом електромеханічних аналогій, при якому еквівалентом сили є електрична напруга  $U_{EKB}$ , а еквівалентом механічної деформації – електричний заряд. Тоді процес перетворення сили в напругу буде мати вигляд, показаний на рис. 5 [11].

$$W(s) = W_1 W_2(s) W_3$$

Для розрахунків врахуємо електричні параметри п'єзоелемента фірми Керо Electronics типу MFT (рис. 1, а) на основі кераміки TiBaO3 з наступними характеристиками [9]:

- робочий діапазон температур - 20 ... + 50 °С;
- резонансна частота  $4,0 \pm 0,5$  kHz;
- резонансний опір 500 W;
- електрична ємність  $34$  nF  $\pm 30\%$ ;
- діаметр латунної підкладки 15 мм;
- діаметр п'єзоелемента 12 мм;
- товщина п'єзоелемента 0,21 мм;
- питома вага  $7 \cdot 10^4$  Н/м<sup>3</sup>;
- коефіцієнт внутрішнього тертя 0,07 Н·с / м;
- модуль Юнга  $4 \cdot 10^{10}$  Н/м<sup>2</sup>;
- напруженість електричного поля  $2 \cdot 10^6$  В/м.

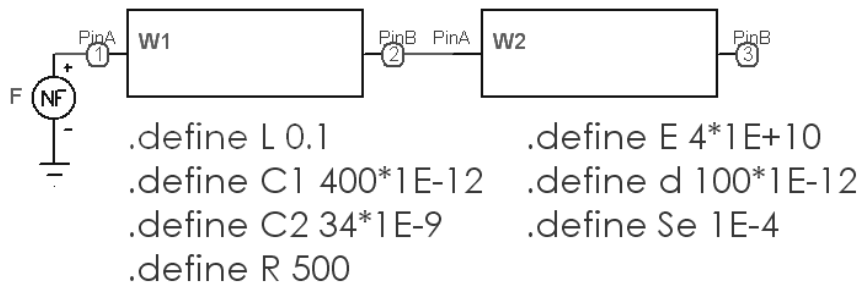
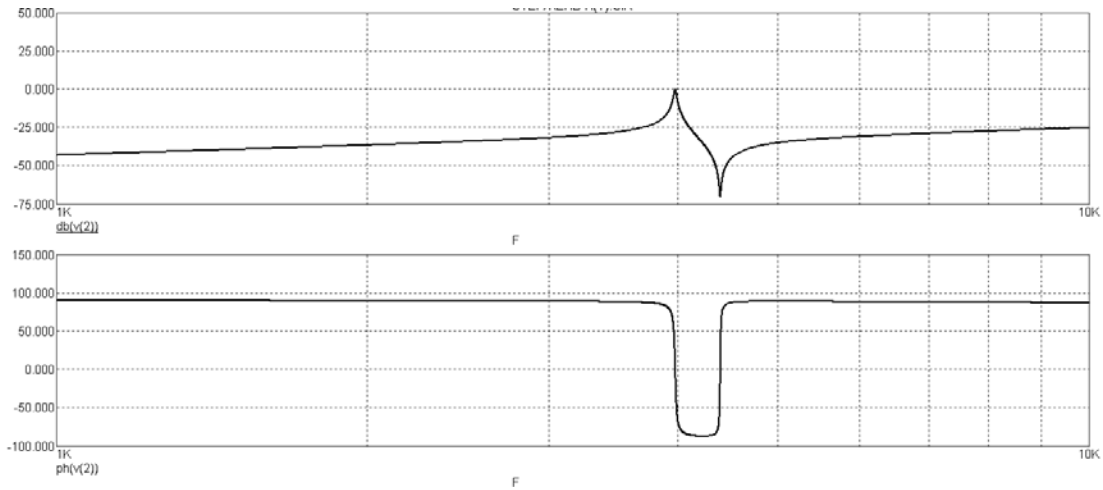


Рис. 6. Функціональна модель п'єзоелемента

Функціональний генератор F імітує механічний вплив, який описується в даному випадку генератором V1.

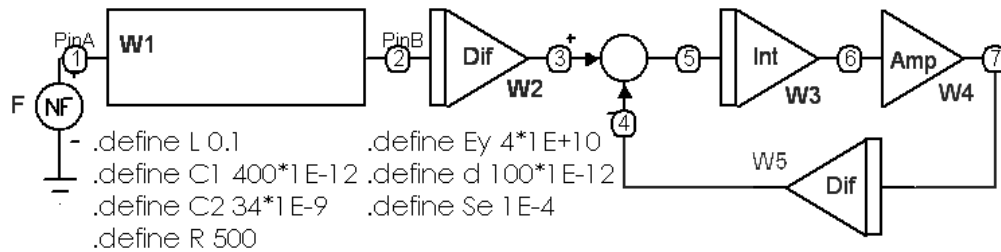
Амплітудночастотна та фазочастотна характеристики функціональної моделі показані на рис. 7.



**Рис. 7.** Амплітудно- (а) та фазочастотна (б) характеристики функціональної моделі біморфного п'єзоелемента

Більш складна функціональна модель біморфного п'єзоелемента з підсилювачем заряду [11], що отри-

мана з використанням середовища СхСАПР, зображена на рис. 8.



**Рис. 8.** Функціональна модель біморфного п'єзоелемента з підсилювачем заряду

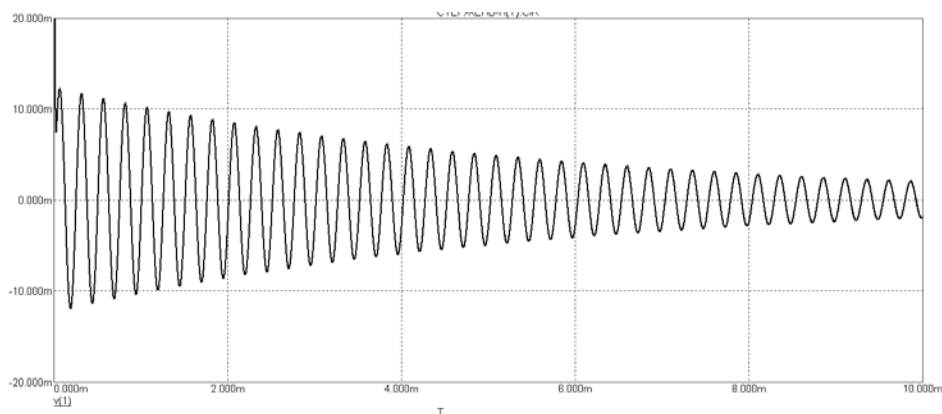
Для спрощення моделі ланка  $W_1$  відповідає загальній передавальній функції двох ланок по рис. 5 –  $W_1$  та  $W_2$ .

Детальний опис ланок підсилювача заряду наведено в роботі [11].

Передавальна функція всієї системи набуде вигляду:

$$W_{\Sigma}(s) = \frac{W_1(s)W_2(s)W_3(s)W_4}{1 + W_3(s)W_4W_5(s)}$$

Амплітудно- та фазочастотні характеристики відповідної моделі суттєво наближені до значень, що показані на рис. 6. Перехідна характеристика функціональної моделі показана на рис. 9.



**Рис. 9.** Перехідна характеристика характеристики функціональної моделі п'єзоелемента з підсилювачем заряду

Розглянемо схемотехнічну модель досліджуваного перетворювача з використанням середовища SxCAPR. Для цього в модель, що зображена на рис. 5, необхід-

но додати  $RLC$  елементи, які показані на рис. 4. Схемотехнічна модель отриманого біморфного п'єзоелемента показана на рис. 10.

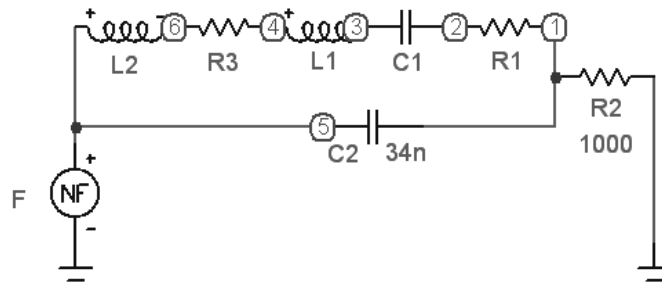


Рис. 10. Схемотехнічна модель біморфного п'єзоелемента

Частотні характеристики схемотехнічної моделі такого перетворювача наведені на рис. 11.

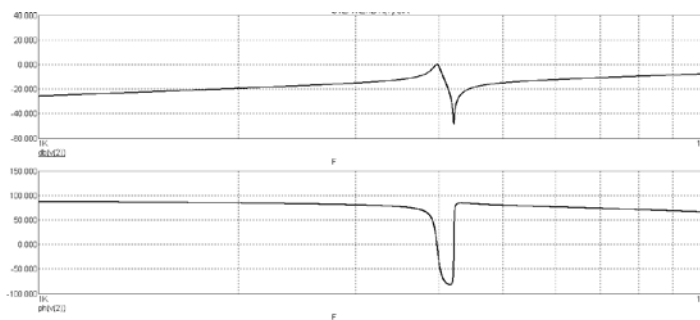


Рис. 11. Амплітудно- (а) та фазочастотна (б) характеристики схемо технічної моделі біморфного п'єзоелемента

Як видно з рис. 7 та рис.11, характеристики обох моделей досить схожі, що підтверджує адекватність отриманих функціональних та схемотехнічних моделей.

12, реакція на гармонійний сигнал з затуханням не має змін. Імпульсний сигнал переданий з деяким викривленням.

Реакція біморфного п'єзоелемента на сигнали спеціальної форми показані на рис. 12. Як видно з рис.

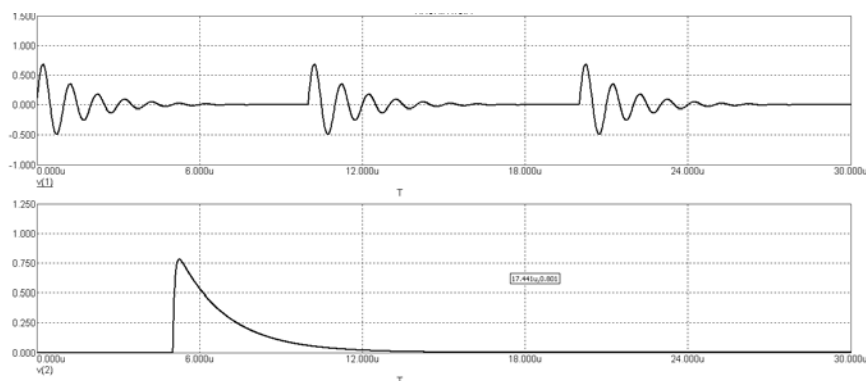


Рис. 12. Реакція біморфного п'єзоелемента на сигнали спеціальної форми

**Висновки.**

В роботі отримані функціональні і схемотехнічні моделі біморфних п'єзоелементів, які використовуються для визначення ефекту Коанда. Вивчено амплітудночастотні, фазочастотні та перехідні характеристики, а також розглянуті реакції на впливи спеціаль-

ної форми (згасаючий по експоненті гармонійний сигнал, а також імпульс з крутим переднім і спадаючим по експоненті заднім фронтом). Відповідність характеристик функціональних і схемотехнічних моделей підтверджує адекватність отриманих моделей.

ЛІТЕРАТУРА

1. The SCHOTTEL Rudderpropeller. From brilliant invention to global classic [Электронный ресурс]. – <http://www.schottel.de/marine-propulsion/srp-rudderpropeller/>.
2. Guyon E., Hulin J.-P., Petit L., Mitescu C. D. Physical Hydrodynamics. – Oxford University Press, – 2001. – 505 p.
3. Peter Lehner, Bob Deans In Deep Water: The Anatomy of a Disaster, the Fate of the Gulf, and How to End Our Oil Addiction. – New York : «OR Books», – 2010. – 173 p.
4. Представление движителей Azipod® серии VI [Электронный ресурс]. – [http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/908eb000f6546300c12577e5004191aa/\\$file/azipod\\_vi\\_project\\_guide\\_ru.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot293.nsf/veritydisplay/908eb000f6546300c12577e5004191aa/$file/azipod_vi_project_guide_ru.pdf).
5. Maciel P., Koop A., Vaz G. Modelling Thruster-Hull Interaction with CFD // Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. – OMAE2013. – June 9 – 14, 2013.
6. Будашко В. В., Никольский В. В., Хнюнин С. Г., Накул Ю. А. Система мониторинга состояния винторулевой колонки для предупреждения эффекта Коанда // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2015. – Вып. 21. Одесса : ОНМА. – С. 22–28.
7. Пат. 100819 Україна, МПК G01L 9/08, 5/12, 1/16. Суднова система моніторингу для попередження ефекту Коанда / В. В. Будашко, В. В. Нікольський, С. Г. Хнюнін. – № u201501854; заявл. 02.03.2015; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.
8. Пат. 107006 Україна, МПК G01L 9/08, 5/12, 1/16. Суднова система моніторингу для попередження ефекту Коанда / В. В. Будашко, В. В. Нікольський, С. Г. Хнюнін. – № u201512962; заявл. 28.12.2015; опубл. 10.05.2016, Бюл. № 9.
9. Хнюнин С. Г. Создание системы регистрации возникновения эффекта отклонения потока жидкости / С. Г. Хнюнин // Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили. – Серія: «Комп'ютерні технології». – Вип. 271. – Т. 283. – Миколаїв, 2016.
10. Пьезоэлектрические преобразователи / В. М. Шарапов, И. Г. Минаев, Ю. Ю. Бондаренко, Т. Ю. Кисиль, М. П. Мусиенко, С. В. Роттэ, И. Б. Чудаева – Черкассы : ЧГТУ, 2004. – 435 с.
11. Мусиенко М. П. Теоретические основы, методы и средства структурно-энергосилового преобразования на основе полиэлектродных пьезокерамических элементов для систем управления: Диссертация д-ра техн. наук: 05.13.05. – Одесса, 2006. – 495 с.

С. Г. Хнюнин,

Национальный университет «Одесская морская академия»,  
г. Одесса, Украина

## ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ И СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТА КОАНДА

*В работе получены функциональные и схемотехнические модели биморфных пьезоэлементов, которые используются для определения эффекта Коанда. Исследованы их амплитудно-частотные, фазочастотные и переходные характеристики, а также рассмотрены реакции на воздействия специальной формы (угасающий по экспоненте гармонический сигнал, а также импульс с крутым передним и ниспадающей по экспоненте задним фронтом).*

**Ключевые слова:** биморфный пьезоэлектрический преобразователь; функциональные и схемотехнические модели; амплитудно- и фазочастотных характеристики.

S. H. Khniunin,

National University «Odessa Maritime Academy»,  
Odessa, Ukraine

## FUNCTIONAL AND SCHEMOTECHNICAL MODELING OF PIEZOTRANSDUSERS FOR THE DETERMINATION OF THE EFFECT OF THE KOAND

*In the article obtained functional and circuit-based models of bimorph piezoelements which are used to determine the Coand effect. Their amplitude-frequency, phase-frequency, and transient characteristics are investigated, and reactions to the effects of a special shape (extinctionally exponential harmonic signal, as well as a pulse with a steep leading and exponentially falling edge) are considered.*

**Key words:** bimorph piezoelectrical transducer; functional and circuitry models; amplitude and phase characteristics.

**Рецензенти:** д. т. н., проф. М. П. Мусієнко;  
к. т. н., доц. І. М. Журавська.

© Хнюнін С. Г., 2016

Дата надходження статті до редколегії 27.10.16

# ДЛЯ НОТАТОК

---

# Наукове видання

## НАУКОВІ ПРАЦІ

науково-методичний журнал

Серія «Комп'ютерні технології»

**Випуск 275**

**Том 287**

---

Редактор *Т. Базильська*.

Технічний редактор, комп'ютерна верстка *Л. Бернацька*.

Друк, фальцювальні-палітурні роботи *С. Волинець*.

Підп. до друку 25.12.2016.

Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Папір офсет.

Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.

Ум. друк. арк. 17,67. Обл.-вид. арк. 10,36.

Тираж 100 пр. Зам. № 5167.

Видавець і виготовлювач: ЧДУ ім. Петра Могили.

54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

Тел.: 8 (0512) 50-03-32, 8 (0512) 76-55-81, e-mail: rector@chmnu.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3460 від 10.04.2009.