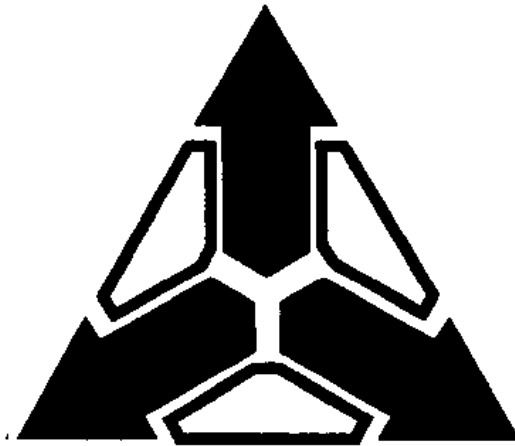


**Міністерство освіти і науки України  
Українська технологічна академія  
Редакція міжнародного науково-технічного журналу "ВОТТП"  
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова  
Білоруський державний університет  
інформатики і радіоелектроніки,  
Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Вінницький національний технічний університет  
National Instruments  
Міжнародне відділення Інституту інженерів  
по електротехніці і радіоелектроніці IEEE**



**ВИМІРЮВАЛЬНА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА  
В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ  
(ВОТТП\_18\_2018)**

**Матеріали  
XVIII- міжнародної науково-технічної конференції**

*8 – 13 червня 2018 р. в м. Одеса (Затока)*

Одеса 2018

*Художнє оформлення обкладинки: д.т.н., проф. І.В. Троцишин*

*<http://fetronics.ho.com.ua/ntk>*

*Рекомендовано до друку рішенням науково-технічної ради  
Одеської національної академії зв'язку ім. О.С. Попова  
протокол № 8 від 25 травня 2018 р.*

У збірнику надруковані доповіді та матеріали, які були представлені та заслухані на XVIII-й міжнародній науково-практичній конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах", яка відбулася у м. Одеса, 8 – 13 червня 2018 р.

Доповіді та окремі статті подані в авторській редакції зі збереженням стилю викладу та якості підготовки вихідних матеріалів.

***Редакційна колегія:***

**Т.В. Борботько** (Білорусія, Мінск); **Бубулис Алгимантас**, (Литва); **Вільям Кей Джі** (Республіка Корея); **Натріашвілі Тамаз Мамієвич**, (Грузія); **М.Н. Гладков** (National Instruments); **В.Б. Дудікевич** (Україна, Львів); **М.П. Дивак** (Україна, Тернопіль); **Жултовський Богдан**, (Польща); **В.Г. Здоренко** (Україна, Київ); **С.М. Злепко** (Україна, Вінниця); **В.Г. Каплун** (Україна, Хмельницький); **В.А. Каптур** (Україна, Одеса); **В.М. Кичак** (Україна, Вінниця); **В.Т. Кондратов** (Україна, Київ); **Є.В. Коробко** (Білорусія); **В.Д. Косенков** (Україна, Хмельницький); **Я.І. Лепіх** (Україна, Одеса); **А.О. Мельник** (Україна, Львів); **Мансуров Тофік Магомедович**, (Азербайджан); **С.В. Павлов** (Україна, Вінниця); **О.М. Петренко** (Англія, Лондон); **С.К. Підченко** (Україна, Хмельницький); **Попов Валентин**, (Німеччина); **О.П. Пунченко** (Україна, Одеса); **В.П. Ройзман** (Україна, Хмельницький); **О.Н. Романюк** (Україна, Вінниця); **В.В. Романюк** (Україна, Хмельницький); **О.П. Ротштейн** (Ізраїль, Єрусалим); **В.П. Тарасенко** (Україна, Київ); **А.В. Толбатов** (Україна, Суми); **Ю.М. Туз** (Україна, Київ); **В.В. Себко** (Україна, Харків); **М.М. Сурду** (Україна, Київ); **П.М. Сопрунюк** (Україна, Львів); **О.П. Стахов** (Канада); **Й.І. Стенцель** (Україна, Северодонецьк); **В.Ю. Цветков** (Білорусія, Мінск); **О.Б. Шарпан** (Україна, Київ); **К.Л. Шевченко** (Україна, Київ),

**В47**                    Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Матеріали XVIII міжнар. наук.-техн. конференції (8-13 червня 2018 р., м. Одеса); Одес. нац. акад. зв'язку ім. О.С. Попова. – Одеса, 2018. – 232 С. (Укр., Рос., Англ.).

ISBN 978-966-413-625-6

Розглянуті проблеми та аспекти використання вимірювальної та обчислювальної техніки в різних галузях економіки та технологічних процесах.

Розраховано на наукових та інженерних працівників, які спеціалізуються в області вивчення цих задач.

**УДК 681.2+004**

ISBN 978-966-413-625-6    © Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, 2018  
© Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова, Україна, 2018

## Склад організаційно-програмного комітету сімнадцятої МНТК ВОТТП 18 – 2018

**П.П. Воробієнко.** - професор, д.т.н., член-кор. НАПН України, ректор ОНАЗ ім. Попова - голова оргкомітету;

**І.В. Троцишин** – проф., д.т.н, академік УТА, головний редактор МНТЖ "ВОТТП" - заступник голови оргкомітету;

### Члени оргкомітету:

**Т.В. Борботько** (Білорусія, Мінск);  
**Бубулис Алгимантас**, (Литва)  
**Вільям Кей Джі** (Республіка Корея)  
**Натріашвілі Тамаз Мамієвич**, (Грузія)  
**М.Н. Гладков** (National Instruments)  
**В.Б. Дудикевич** (Україна, Львів)  
**М.П. Дивак** (Україна, Тернопіль)  
**Жултовський Богдан**, (Польща)  
**В.Г. Здоренко** (Україна, Київ)  
**С.М. Злепко** (Україна, Вінниця)  
**В.Г. Каплун** (Україна, Хмельницький)  
**В.А. Каптур** (Україна, Одеса)  
**В.М. Кичак** (Україна, Вінниця)  
**В.Т. Кондратов** (Україна, Київ)  
**Є.В. Коробко** (Білорусія)  
**В.Д. Косенков** (Україна, Хмельницький)  
**Я.І. Лепіх** (Україна, Одеса)  
**А.О. Мельник** (Україна, Львів)  
**Мансуров Тофік Магомедович**, (Азербайджан)  
**С.В. Павлов** (Україна, Вінниця)

**О.М. Петренко** (Англія, Лондон)  
**С.К. Підченко** (Україна, Хмельницький)  
**Попов Валентин**, (Німеччина)  
**О.П. Пунченко** (Україна, Одеса)  
**В.П. Ройзман** (Україна, Хмельницький)  
**О.Н. Романюк** (Україна, Вінниця)  
**В.В. Романюк** (Україна, Хмельницький)  
**О.П. Ротштейн** (Ізраїль, Єрусалим)  
**В.П. Тарасенко** (Україна, Київ)  
**А.В. Толбатов** (Україна, Суми)  
**Ю.М. Туз** (Україна, Київ)  
**В.В. Себко** (Україна, Харків)  
**М.М. Сурду** (Україна, Київ)  
**П.М. Сопрунюк** (Україна, Львів)  
**О.П. Стахов** (Канада)  
**Й.І. Стенцель** (Україна, Северодонецьк)  
**В.Ю. Цветков** (Білорусія, Мінск)  
**О.Б. Шарпан** (Україна, Київ)  
**К.Л. Шевченко** (Україна, Київ).

### Організаційна група:

**В.О. Лазукін** - директор бази відпочинку ОНАЗ,  
**Я.В. Гапанович** – керівник ЦІТС та П, ОНАЗ,  
**І.В. Троцишин** – технічний секретар

## Регламент роботи конференції ВОТТП 18 – 2018

9-00__20-00	<b>П'ятниця, 8. червня</b>
10-30__17-00	Реєстрація учасників конференції Попередній розгляд дисертаційних робіт пошукачів <b>(База відпочинку ОНАЗ ім. О.С.Попова, Затока, «Кароліно-Бугаз»)</b>
9-00__10-00	<b>Субота, 9. червня.</b> Реєстрація учасників конференції <b>(База відпочинку ОНАЗ ім. О.С.Попова, Затока, «Кароліно-Бугаз»)</b>
10-30__12-00	Пленарне засідання
12-00__13-00	Обід, брейк-кава
13-00__17-30	Робота секцій
<b>19-00 21-00</b>	<b>Дружня вечеря</b>
9-00__17_00	<b>Неділя, 10- Понеділок, 11 , червня</b> Робота секцій
8-00__21_00	<b>Вівторок, 12 червня</b> Екскурсійні поїздки: Фортці Білгород-Дністровського; Знайомство з підприємством «ШАБО»
10-00_12-00	<b>Середа, 13. червня</b> Робота секцій
12-00_13-00	брейк-кава
13-00_14-00	Пленарне засідання. Підведення результатів, <b>Прийняття рішень</b>
14-00	<b>Від'їзд учасників</b>

# Програма конференції

Субота, 9 червня

## 10-20. Відкриття 18-ї МНТК ВОТТП.

1. Вступне слово ректора ОНАЗ ім. О.С.Попова **Воробієнка П.П.**, Голови оргкомітету ВОТТП-18-2018.
2. План дій та регламент конференції. **Троцишин І.В.** – Заступник голови оргкомітету.

## 10-30-12-00 Пленарні засідання

1. ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МЕТРОЛОГИИ ВЧЕРА, СЕГОДНЯ И ЗАВТРА **В.Т.Кондратов.** Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины.
2. «ТАБЛИЦЯ МЕНДЕЛЄЄВА» ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА - КЛАСИФІКАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ОЛЕКСАНДРА БРОВАРЦЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СУЧАСНИХ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РОСЛИННИЦТВА. **О.О. Броварець.** Київський кооперативний інститут бізнесу і права.
3. НАУКОВІ ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕР – ФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПІВ. **Г. М. Клецов.** Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса.
4. ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ АКТИВНОЇ ПРОТИДІЇ БПЛА ЗА АЛГОРИТМОМ АКАД. **І.В.Троцишин,** Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова, **О.П.Войтюк,** ВАТ НОВАТОР, Хмельницький.
5. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕДИЧНИХ ГАДЖЕТІВ ТА МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ БІОМЕДИЧНИХ ДАНИХ. **О.І. Дорош, О.Ю. Степанюк** Національний університет «Києво-Могилянська Академія», **Г.Л. Кучмії,** Національний університет «Львівська політехніка» **Н.В. Дорош, М.В. Коцаренко,** Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького .
6. DEVELOPMENT OF THE INTERNATIONAL MEDICAL RESEARCH CENTER ON THE ESTIMATION OF THE STATE OF HUMAN HEALTH AND ITS REJUVENATION. **Pavlov Sergii<sup>1</sup>, Zlepko Sergii<sup>1</sup>, Waldemar Wójcik<sup>2</sup>, Korobov Anatoli<sup>3</sup>, Avrunin Oleg<sup>4</sup>, Vlasenko Oleg<sup>5</sup>.** Vinnitsia National Technical University (VNTU), Ukraine Politechnika Lubelska, Poland., V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine. , National Pirogov Memorial Medical University, Ukraine.
7. ПЛАНУВАННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ДЛЯ КОМЕРЦІЙНИХ УСТАНОВ. **О.Б. В'юненко, \* А.В. Толбатов, \*\* В.А. Толбатов.** \* Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна; \*\* Сумський державний університет, м. Суми, Україна.
8. КВАНТОВІ ПРИЙМАЧІ ДЛЯ ТЕРАГЕРЦЕВОГО СПЕКТРУ ЧАСТОТ. **В. М. Кичак, І. А. Самолюк, М. В. Васильківський.** Вінницький національний технічний університет.

**12-00 \_ 13-00, брейк-кава, Обід.**

## 13-00-16-00 Секційні засідання

**Секція 1\_ Загальні питання метрології та вимірювальної техніки; Оптичні та фізико-хімічні вимірювання; Біомедичні вимірювання і технології; Новітні методи та технології**  
**Керівники: д.т.н. Кондратов В.Т., д.т.н. Злепко С.М.**

1. ПРОБЛЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ К ЭКВИВАЛЕНТНЫМ ЛИНЕЙНЫМ В ФОРМЕ БРУНОВСКОГО. **В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, А.Ю. Заковоротный, Д.М. Главчев.** Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт".
2. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЯЗЫКОВ ВЫСОКОГО УРОВНЯ. **В.А. Вышинский, А.Ю. Кононенко, А.В. Слепец.** Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины.
3. СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СВЕРХКОРОТКИХ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ. **Н.А. Одегов, Е.В. Юрьева.** Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова.
4. ВИЗНАЧЕННЯ ОРБИТИ ЦЕНТРУ ОБЕРТАННЯ РОТОРА ПОТУЖНОГО ГЕНЕРАТОРА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИМІРЮВАННЯ ПОВІТРЯНОГО ЗАЗОРУ. **Є.О. Зайцев, А.С. Левицький.** Інститут електродинаміки НАН України.
5. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН. **Н. Кунах, Л. Харлай, А. Коновалов, К. Никифорова, Ю. Сотниченко, Ю.Матюшичев.** Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова .
6. ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВОЛНОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. **В.С. Моравський, А.М. Кучеренко, Л. Дулебова, І Гайдос.** Національний університет “Львівська політехніка”, Технічний університет м. Кошице (Словаччина).
7. МОДЕЛЬ І МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ ГАЗІВ ПРИРОДНОГО І ШТУЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ. **О.В.Бутенко.** Одеський національний політехнічний університет **О.І.Брунеткін.** Одеський національний політехнічний університет. **В.Е.Демиденко.** Одеський національний політехнічний університет. **В.В.Бондаренко.** Національний університет «Одеська морська академія» .

8. ИЗУЧЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОМАССОБМЕНА И КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ ПОРИСТЫХ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПОМОЩИ ОПТИКО-ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ. **С.Г. Орловская, О.Н. Зуи**. Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова.
9. ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК ТИСКУ МЕМБРАННОГО ТИПУ З КІЛЬЦЕВИМИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИМИ КОЛЕКТОРАМИ. **В.М.Шапар, В.С. Лисенко**, Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАНУ. **А.В.Савчук**, Міжнародний центр «Інститут прикладної оптики» НАНУ.
10. NEW PHOSPHATE FERTILIZERS WITH ORGANIC COMPONENTS \* **A.B.Shandyba, \* O.O. Vasilenko, \* A.V. Tolbatov, \* O.V. Semerna, \* L.V. Ambarjan, \*\* V.S. Vakal**. \* Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine; \*\* Sumy State Research Institute of Fertilizers and Pigments, Sumy, Ukraine .
11. НЕЧІТКА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ В'ЯЗКОСТІ БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО РІДКОГО ПАЛИВА НА БАЗІ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ FUZZYTECH. **І.С. Кушнір**. Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова. **О.М. Харабет**. Одеський національний політехнічний університет.
12. ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗРЕЗОНАНСНОГО КРІПІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ. **В. А. Мороз, В. П. Ройзман, О. К. Яновицький, В. В. Мішан**. Хмельницький національний університет.
13. КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ СТАТИСТИЧНИХ ТА КОРЕЛЯЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЕКЛ-ІНТЕРФЕРОГРАМ. **Богомолов Н.Ф., Реутська Ю. Ю.** Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина. **Троц А. А.** Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна.
14. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ AS4U ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ВЕБ-РЕСУРСУ ФАХОВОГО МЕДИЧНОГО ПЕРІОДИЧНОГО ВИДАННЯ. **О.В. Бойко, К.І. Ільканич, С.В. Різничок, В.Ю. Майхер**. Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького.
15. МОБІЛЬНІ ДОДАТКИ І СИСТЕМИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ І ЛІКУВАННЯ ЦУКРОВОГО ДІАБЕТУ 1-ГО ТИПУ. **Д. М. Барановський, С. М. Злепко, С. В. Тимчик, С. В. Костішин, Т. А. Чернишова**. Вінницький національний технічний університет.
16. АПАРАТНО-ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА БЕТА КЛІТИНА». **Д. М. Барановський**. Вінницький національний технічний університет.
17. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБОНЯТЕЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТІ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТІЯ РЕШЕНІЙ ДЛЯ ОЛЬФАКТOMETРИЧЕСКОЙ ДІАГНОСТИКИ **Я.В. Носова, О.Г. Аврунин**. Харьковський національний університет радіоелектроніки.
18. ХІМІЧНА МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ ПОЛІСТИРОЛУ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ІМУНОФЕРМЕНТНОМУ АНАЛІЗІ. **О.В. Шинкаренко Г.В. Бекетов В.П. Кислий, А.І. Ліптуга**, Інститут фізики напівпровідників ім. Лашкарьова НАН України.
19. COAXIAL APERTURE SENSOR FOR ASSESSING THE STATE OF BIOLOGICAL OBJECTS. **A.Yu.Panchenko, N.I. Slipchenko, O.B.Zaichenko, I.N.Bondarenko**. Kharkov National University of Radioelectronics.
20. МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ ДЛЯ ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ. **І. Ю. Худецький, Ю. В .Антонова-Рафі, А. В. Шевчук**. Національний Технічний Університет України «Київський Політехнічний Інститут ім. І. Сікорського» Київ, Україна .
21. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНИХ ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ МЕДИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ. **В. Є. Кривонос, Є. Л. Піротті, О. Ю. Азархов, Л. Г. Коваль, М. В. Паламарчук**. Вінницький національний технічний університет.
22. THE PLANK'S CONSTANT: LENGTH, MASS, TIME AND THE FINE STRUCTURE CONSTANT COMBINE GRAVITATIONAL AND ELECTROMAGNETIC INTERACTION. **V.F Timkov<sup>1</sup>, S.V.Timkov<sup>2</sup>, V.A .Zhuko<sup>2</sup>, К.Е. Afanasiev<sup>2</sup>**.<sup>1</sup>The Office of National Security and Defense Council of Ukraine, <sup>2</sup> Research and Production Enterprise «TZHK», Odesa..
23. КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗАТОР ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ АФІННИХ БІОСЕНСОРНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ. **Р.Я. Яремик**. Львівський національний університет імені Івана Франка.
24. МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНАЯ ЛЕЧЕБНО-ДІАГНОСТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ. **Войцехович В.С.<sup>1</sup>, Павлов С.В.<sup>2</sup>, Петраш Н.Г.<sup>1</sup>, Петрушко Ю.А.<sup>1</sup>, Титова Н.В.<sup>2</sup>, Холин В.В.<sup>1</sup>, Чепурная О.Н.<sup>1</sup>**. <sup>1</sup>ПМВП «Фотоніка Плюс», м. Черкаси, Україна. <sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.
25. К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПОДАЧИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ШТОКА ПРИ НАКАТЫВАНИИ РОЛИКОМ. **В.В. Стрельбицкий, О.С. Тоган**. Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса..

*Секція 2\_ Електричні та радіотехнічні вимірювання; Інформаційно-вимірювальні та обчислювальні системи і комплекси в технологічних процесах;  
Керівники: д.т.н. Троцишин І.В., д.т.н. Романюк О.Н.*

1. THE DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL FOR CONTROL AND MANAGEMENT OF AUTONOMOUS APARTMENT ENERGY SUPPLY COMBINED SYSTEMS. **A.A. Asmankina, M.G. Loria, O.B. Tselishchev, A.B. Zhydkov**. Volodymyr Dahl East Ukrainian National University.
2. OPERATOR METHOD ANALYSIS OF PULSE-FORMING LINES AND SCREENING. **V. I. Chumakov, O. I. Kharchenko**. Kharkiv National University of Radioelectronics.
3. STANDING OUT OF DIGITAL SIGNALS BY MEANS OF NONLINEAR STOCHASTIC FILTRATION. **O. I. Kharchenko**. Kharkiv National University of Radio Electronics.
4. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФАЗА-АМПЛІТУДА У ЦИФРОВИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИНТЕЗАТОРАХ. **О.І. Полікаровських, І.В. Гула**. Хмельницький національний університет.
5. СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА ПАНОРАМНОГО ПРИЛАДУ. **С. П. Кононов, М. А. Григоренко, А. С. Луцишин**. Вінницький національний технічний університет.

6. ШВИДКОДІЙНИЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ДОДАТКОВИМ КАНАЛОМ ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛУ. Г.Г. БОРТНИК, **О.Г. Бортник, Р.М. Вігер**. Вінницький національний технічний університет.
7. АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ПЕРЕДБАЧЕННЯМ СИГНАЛУ. Г.Г. **Бортник, А.В. Коваленко**. Вінницький національний технічний університет.
8. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАРОЖДАЮЩИХСЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕТОДОМ РАЗДЕЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ. А. Ю. **Воловик, О. В. Осадчук, М. А. Шутило, О. П. Червак**. Винницкий национальный технический университет.
9. ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗАХИЩЕНОГО ГРУНТУ. **В.О.Стриж, М.С. Приходько, О.В. Рясна**. Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна.
10. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИЙМАЛЬНИХ АНТЕН ДЛЯ ПРИЙОМУ СПЕЦІАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД КА ТИПУ SUBSAT В Х-ДІАПАЗОНІ. <sup>1</sup>**О. Кальватинський** <sup>2</sup>**С. Фриз**<sup>1</sup> Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля, Хмельницька область, с. Залісці<sup>2</sup> Житомирський військовий інститут ім. С. П. Корольова м. Житомир
11. ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ СИСТЕМОЇ РОБОТИ З ФАЙЛАМИ БАЗ ДАНИХ. **В.О. Войтенко, В.І. Панченко**. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».
12. ОЗРОБКА СТРУКТУРИ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПРИЛАДОВОЇ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РОБОТА. **А.В. Рудик**. Національний авіаційний університет. **В.А. Рудик**, Київський національний університет будівництва і архітектури.
13. МЕТАМОДЕЛЮВАННЯ ЯК МЕТОД ПРОЕКТУВАННЯ ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З АПРІОРИ ВИЗНАЧЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ. **Р.В.Трембовецька, В.Я. Гальченко, В.В.Тичков**. Черкаський державний технологічний університет.
14. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ. **К.Г.Киркопуло**. Одесский национальный политехнический университет.
15. ПРОГРАМНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ШУМОВ С НОРМАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ. **О.Ю. Олейник, Ю.К. Тараненко**. Украинский государственный химико-технологический университет, г.Днепр.
16. ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. **О.И. Ковтун, О.А. Лещенко, К.К. Духновская**. Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко.
17. HYBRID OPTIONS IN THE CONSTRUCTION OF SECURITY SYSTEMS AND THE IMPLEMENTATION OF THE DIGITAL HOME FUNCTIONS. **O.V.Andrieieva**. National Technical University of Ukraine, "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institutes", Ukraine.
18. ПОБУДОВА ПРОСТОРУ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ У ВНЗ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ. **К.М. Філоненко, О.О. Фомін**. Одеський національний політехнічний університет
19. МІКРОКОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ІМПУЛЬСНОЇ ІМПЕДАНСНОЇ СПЕКТРОСКОПІЇ ДЛЯ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ. **Р.Я. Яремик**. Львівський національний університет імені Івана Франка.
20. РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ/ЭЛЕКТРОННЫХ СБОРОЧНЫХ УЗЛОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. А.Ф. **Розвадовский**<sup>1</sup>, **А.М..Подобаев**<sup>2</sup> <sup>1</sup>Научно-исследовательский институт радио, Россия . <sup>2</sup>Самарский научно-исследовательский институт им. Ак. Королева С.П., Россия.
21. ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ІЗ СКАЛЯРНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ . **О.М. Халімовський , О.Л. Сокольський , І.І. Івіцький, О.С. Богута .** Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
22. НИЗЬКО-ПРОФІЛЬНА ШИРОКОСМУГОВА ДИСК-КІЛЬЦЕВА АНТЕНА. **С.В.Сідень, Р.А.Фокін**. Одеськанациональна академія зв'язку ім. О.С. Попова

### *Секція 3\_ Обмін досвідом та технологіями; Телекомунікаційні та інформаційні технології.*

*Керівники: д.т.н. Кичак В.М., д.ф.-м.н. Леніх Я.І.*

1. ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СУДНОВОДІННЯ З ДОПОМОГОЮ БАТІМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ. **Н.О. Пунченко, С.Г. Мазуренко, А.С. Домбровський, О.О. Попов, В.О. Чоповська, В.В. Шелудько, Ю.Ю. Стоянов**. Одеська державна академія технічного регулювання та якості Національний університет "Одеська морська академія", Одеський національний політехнічний університет.
2. A NEW METHOD FOR HEAT TRANSFER PREDICTION IN CONDENSING INSIDE PLAIN. **V.V.Tubes**. Serednational University Of Water And Environmental Engineering. V. Gorinodessa State Academy Of Technical Regulation And Quality.
3. TOPICAL ISSUES OF UNIVERSITIES' DISTANCE E-LEARNING SYSTEM SUPPORT. \* **A.V. Tolbatov, O.B. Viunenko, \* G.A. Smolarov, \*\* V.A. Tolbatov** \* Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine; \*\* Sumy State University, Sumy, Ukraine.
4. ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ОБРОБКИ ГРУНТУ ПРИСАДИБНИХ ДІЛЯНОК. **М.С. Приходько, В.О. Стриж**. Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна.
5. АНАЛИЗ СТОЙКОСТИ СВЕРЛ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ В ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ. **В.В. Стрельбицкий**. Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса.

6. ВИБІР СПЕКТРІВ РЕАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ КОЛЬОРОПЕРЕДАЧІ. **В. В. Пилявський, Р. В. Ванькович, В. В. Штефан, М. О. Форостенко, К. С. Неумитих.** Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова.
7. КОНСТРУКТОР НАВЧАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ З КУРСУ «ФІЗИКА» (ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ), СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ. **І. В. Троцишин.** Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова.
8. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ LI-FI И ПУТИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ. **А. И. РОМАНОВ, Д. М. Федюшина, Т. Т. Донг.** Национальный технический университет Украины "КПИ имени Игоря Сикорского" Украина.
9. СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ МОРСКИХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ. **И. Л. Афонин, В. В. Головин, Ю. Н. Тыщук.** ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь.
10. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ФРАКТАЛЬНОГО СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОЙ И СВЕРХВЫСОКОЙ ЧЁТКОСТИ. **В. В. Амуров.** Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова.
11. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ DRM ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И НОВЕЩАНИЯ ПРОГРАММ УКРАИНСКОГО РАДИО. **Н. М. Балан, А. С. Кольцова** Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова, ГП «УНИИРТ».
12. USING THE DATA EXCHANGE FUNCTION BETWEEN INDICATORS IN INTEGRATED NAVIGATION SYSTEMS. **V. Ch. Berdiev, N. O. Punchenko, O. O. Popov.** Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality
13. АУДІОВІЗУАЛЬНІ ОБ'ЄКТИ І МЕТАДАНИ. **О. В. Ошаровська.** Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова.
14. ЕКОНОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТАРИФІВ РИНКУ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ. **І. В. Вороненко, Ю. О. Нам'ясенко.** Національний університет бізнесу і природокористування України.
15. УДОСКОНАЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ОПЕРАТОРА **Р. С. Одарченко, Л. О. Харлай.** Національний авіаційний університет.
16. МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ ПІД УПРАВЛІННЯМ ОС iOS. **О. Є. Дідусенко, В. І. Панченко.** Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут».
17. ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ САМОПОДІБНОГО ТРАФІКА ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ. **А. Г. Ложковський, Є. В. Левенберг.** Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова.
18. ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ У ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ. **М. В. Васильківський, Р. П. Паламарчук.** Вінницький національний технічний університет.
19. ОСОБЛИВОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ В АРХІТЕКТУРІ IMS. **Ю. О. Сотніченко.** Київський коледж зв'язку.
20. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЗАВАДИ ВІД СУСІДНЬОГО СТІЛЬНИКА. **Р. Г. Биков.** Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова.
21. СОЛІТОННІ ВОЛЗ ПІДВИЩЕНОЇ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ. **А. В. Мазур, М. В. Васильківський.** Вінницький національний технічний університет.
22. КРИПТОГРАФИЧЕСКИЙ ПРОТОКОЛ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА С НУЛЕВЫМ РАЗГЛАШЕНИЕМ НА ОСНОВЕ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИНОМИАЛЬНОГО КОЛЬЦА. **А. В. Онацкий<sup>1</sup>, О. В. Жарова<sup>2</sup>.** <sup>1</sup>Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова, <sup>2</sup>Одесский национальный политехнический университет.
23. МЕТОД ЗНАХОДЖЕННЯ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНОГО ОБ'ЄКТА ЗА ВИХІДНИМ СИГНАЛОМ. **Г. О. Димова.** Херсонський національний технічний університет.
24. MODERNIZED DIJKSTRA'S ALGORITHM AND MATHEMATICAL MODEL FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM. **Ruslan Skuratovskii** Kiev, MAUP, Ukraine, **Yevgen Osadchyy** Kiev National University named by Taras Shevchenko, Ukraine.
25. ПЕРСПЕКТИВА ПЕРЕХОДА К СЕТИ П'ЯТОГО ПОКОЛЕННЯ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГІЇ МІМО І LTE. **Э. А. Сукачев, А. А. Вакарчук, С. В. Сидень, Е. Г. Смахов.** Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова.
26. КОНСТРУКТОР НАВЧАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ З КУРСУ «ФІЗИКА» (ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ), СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ. **І. В. Троцишин.** ОНАЗ ім. О. С. Попова..
27. КВАНТОВИЙ ПРИНЦИП ЗАХИСТУ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ НА ПРЕДСТАВНИЦЬКОМУ РІВНІ МОДЕЛІ OSI **С. Д. Радкевич<sup>1</sup>, А. С. Тіхонов<sup>2</sup>.** <sup>1</sup>Національний транспортний університет, <sup>2</sup> Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова..
28. THE SOFTWARE VERIFICATION ISSUES OF THE NETWORK MAXFLOW PROBLEM. **V. I. Tikhonov., O. M. Yavorsckaya, V. V. Berezovskiy.** A. S. Popov Odessa National Academy on Telecommunication.
29. SCHEDULING ALGORITHM FOR CONVEYOR-MODULAR METHOD OF MULTIMEDIA DATA TRANSFER. **O. V. Tykhonova.** A. S. Popov Odessa National Academy on Telecommunication..
30. SELF-CALIBRATION OF IMAGE FORMER WITH OPTICAL TEST-RING. **O. V. Andrieieva.** National Technical University of Ukraine, "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute," Kyiv, Ukraine.
31. ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ ЗА ОЦІНКОЮ СПЕКЛ-СТРУКТУР. **О. Є. Землянський.** Хмельницький національний університет.

## ЗМІСТ

### ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ МЕТРОЛОГІЇ, ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

<b>В.Т. КОНДРАТОВ.</b> ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МЕТРОЛОГИИ ВЧЕРА, СЕГОДНЯ И ЗАВТРА.....	12
<b>О.О. БРОВАРЕЦЬ.</b> «ТАБЛИЦА МЕНДЕЛЕЕВА» ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА - КЛАСИФІКАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ОЛЕКСАНДРА БРОВАРЦЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СУЧАСНИХ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РОСЛИННИЦТВА .....	16
<b>Г.М. КЛЕЩОВ.</b> НАУКОВІ ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕР – ФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПІВ .....	19
<b>І.В.ТРОЦИШИН, О.П.ВОЙТЮК.</b> ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ АКТИВНОЇ ПРОТИДІЇ БПЛА ЗА АЛГОРИТМОМ АКАД.....	21
<b>В.Д. ДМИТРИЕНКО, С.Ю. ЛЕОНОВ, А.Ю. ЗАКОВОРОТНЫЙ, Д.М. ГЛАВЧЕВ.</b> ПРОБЛЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ К ЭКВИВАЛЕНТНЫМ ЛИНЕЙНЫМ В ФОРМЕ БРУНОВСКОГО .....	25
<b>В.А. ВЫШИНСКИЙ, А.Ю. КОНОНЕНКО, А.В. СЛЕПЕЦ.</b> НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЯЗЫКОВ ВЫСОКОГО УРОВНЯ.....	27
<b>Г.В. БЕКЕТОВ В.П. КИСЛИЙ, А.І. ЛПТУГА, О.В. ШИНКАРЕНКО.</b> ХІМІЧНА МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ ПОЛІСТИРОЛУ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ІМУНОФЕРМЕНТНОМУ АНАЛІЗІ .....	30
<b>С.А.КРАВЧЕНКО, В.П. ПИАСТРО, А.Н. ПРОНИН.</b> ПОВЕРКА И КАЛИБРОВКА В ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ .....	32

### ОПТИЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

<b>В.М.ШАПАР, В.С. ЛИСЕНКО, А.В.САВЧУК.</b> ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК ТИСКУ МЕМБРАННОГО ТИПУ З КІЛЬЦЕВИМИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИМИ КОЛЕКТОРАМИ.....	35
<b>Н.А. ОДЕГОВ, Е.В. ЮРЬЕВА.</b> СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СВЕРХКОРОТКИХ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ.....	38
<b>A.V.SHANDYBA, O.O. VASILENKO, A.V. TOLBATOY, O.V. SEMERNA, L.V. AMBARJAN, V.S. VAKAL.</b> NEW PHOSPHATE FERTILIZERS WITH ORGANIC COMPONENTS.....	41
<b>Є.О. ЗАЙЦЕВ, А.С. ЛЕВИЦЬКИЙ.</b> ВИЗНАЧЕННЯ ОРБИТИ ЦЕНТРУ ОБЕРТАННЯ РОТОРА ПОТУЖНОГО ГЕНЕРАТОРА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИМІРЮВАННЯ ПОВІТРЯНОГО ЗАЗОРУ .....	44
<b>В.А. МОРОЗ, В.П. РОЙЗМАН, О.К. ЯНОВИЦЬКИЙ, В.В. МІШАН.</b> ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗРЕЗОНАНСНОГО КРІПІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ .....	46
<b>Н. КУНАХ, Л. ХАРЛАЙ, А. КОНОВАЛОВ, К. НИКИФОРЕНКО, Ю. СОТНИЧЕНКО, Ю. МАТЮШИЧЕВ.</b> МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН .....	49
<b>В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ, О.С. ТОГАН.</b> К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПОДАЧИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ШТОКА ПРИ НАКАТЫВАНИИ РОЛИКОМ .....	52
<b>В.С. МОРАВСЬКИЙ, А.М. КУЧЕРЕНКО, Л. ДУЛЕБОВА, І ГАЙДОС.</b> ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВОЛЮМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	54
<b>О.В.БУТЕНКО, О.І.БРУНЕТКІН, В.Е.ДЕМИДЕНКО, В.В.БОНДАРЕНКО.</b> МОДЕЛЬ І МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ ГАЗІВ ПРИРОДНОГО І ШТУЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ .....	56
<b>І.С. КУШНІР, О.М. ХАРАБЕТ.</b> НЕЧІТКА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ В'ЯЗКОСТІ БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО РІДКОГО ПАЛИВА НА БАЗІ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ FUZZYTECH.....	60
<b>С.Г. ОРЛОВСКАЯ, О.Н. ЗУЙ.</b> ИЗУЧЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОМАССОБМЕНА И КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ ПОРИСТЫХ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПОМОЩИ ОПТИКО-ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ .....	62

### ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ ТА РАДІОТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

<b>О.М. ХАЛІМОВСЬКИЙ, О.Л. СОКОЛЬСЬКИЙ, І.І. ІВЦЬКИЙ, О.С. БОГУТА.</b> ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ІЗ СКАЛЯРНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	64
--	----



<b>A.A. ASMANKINA, M.G. LORIA, O.B. TSELISHCHEV, A.B. ZHYDKOV.</b> THE DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL FOR CONTROL AND MANAGEMENT OF AUTONOMOUS APARTMENT ENERGY SUPPLY COMBINED SYSTEMS.....	67
<b>V. I. SHUMAKOV, O. I. KHARCHENKO.</b> OPERATOR METHOD ANALYSIS OF PULSE-FORMING LINES AND SCREENING.....	69
<b>O. I. KHARCHENKO.</b> STANDING OUT OF DIGITAL SIGNALS BY MEANS OF NONLINEAR STOCHASTIC FILTRATION.....	72
<b>О. КАЛЬВАТИНСЬКИЙ, С. ФРИЗ.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИЙМАЛЬНИХ АНТЕН ДЛЯ ПРИЙОМУ СПЕЦІАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД КА ТИПУ SUBSAT В X-ДІАПАЗОНІ.....	74
<b>В.О.СТРИЖ, М.С. ПРИХОДЬКО, О.В. РЯСНА.</b> ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ.....	76
<b>С.В. СІДЕНЬ, Р.А. ФОКІН.</b> НИЗЬКО-ПРОФІЛЬНА ШИРОКОСМУГОВА ДИСК-КІЛЬЦЕВА АНТЕНА.....	78
<b>А.Ф. РОЗВАДОВСКИЙ, М. СПОДОБАЕВ.</b> РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ/ЭЛЕКТРОННЫХ СБОРОЧНЫХ УЗЛОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ.....	80
<b>О.І. ПОЛКАРОВСЬКИХ, І.В. ГУЛА.</b> АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФАЗА-АМПЛІТУДА У ЦИФРОВИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИНТЕЗАТОРАХ.....	83
<b>С.П. КОНОНОВ, М.А. ГРИГОРЕНКО, А.С. ЛУЦИШИН.</b> СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА ПАНОРАМНОГО ПРИЛАДУ.....	86
<b>Г.Г. БОРТНИК, О.Г. БОРТНИК, Р.М. ВІТЕР.</b> ШВИДКОДІЙНИЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ДОДАТКОВИМ КАНАЛОМ ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛУ.....	88
<b>Г.Г. БОРТНИК, А.В. КОВАЛЕНКО.</b> АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ПЕРЕДБАЧЕННЯМ СИГНАЛУ.....	90
<b>А.Ю. ВОЛОВИК, О.В. ОСАДЧУК, М.А. ШУТИЛО, О.П. ЧЕРВАК.</b> ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАРОЖДАЮЩИХСЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕТОДОМ РАЗДЕЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ.....	92
<b>ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ І КОМПЛЕКСИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ</b>	
<b>O.V. ANDRIEIEVA.</b> HYBRID OPTIONS IN THE CONSTRUCTION OF SECURITY SYSTEMS AND THE IMPLEMENTATION OF THE DIGITAL HOME FUNCTIONS.....	95
<b>В.О. ВОЙТЕНКО, В.І. ПАНЧЕНКО.</b> ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ СИСТЕМНОЇ РОБОТИ З ФАЙЛАМИ БАЗ ДАНИХ.....	97
<b>А.В. РУДИК, В.А. РУДИК.</b> РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПРИЛАДОВОЇ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РОБОТА.....	99
<b>О.И. КОВТУН, О.А. ЛЕЩЕНКО, К.К. ДУХНОВСКАЯ.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	102
<b>Р.В. ТРЕМБОВЕЦЬКА, В.Я. ГАЛЬЧЕНКО, В.В. ТИЧКОВ.</b> МЕТАМОДЕЛЮВАННЯ ЯК МЕТОД ПРОЕКТУВАННЯ ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З АПРІОРИ ВИЗНАЧЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ.....	105
<b>О.Ю. ОЛЕЙНИК, Ю.К. ТАРАНЕНКО.</b> ПРОГРАМНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФИЛЬТР КАЛМАНА ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ШУМОВ С НОРМАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ.....	108
<b>К.Г. КИРКОПУЛО.</b> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ.....	110
<b>К.М. ФЛОНЕНКО, О.О. ФОМІН.</b> ПОБУДОВА ПРОСТОРУ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ У ВНЗ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ.....	113
<b>БІОМЕДИЧНІ ВИМІРЮВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЇ</b>	
<b>SERGIY PAVLOV , SERGIY ZLEPKO , W WÓJCIK ALDEMAR , ANATOLI KOROBV , OLEG AVRUNIN , OLEG VLASENKO</b> DEVELOPMENT OF THE INTERNATIONAL MEDICAL RESEARCH CENTER ON THE ESTIMATION OF THE STATE OF HUMAN HEALTH AND ITS REJUVENATION.....	116
<b>О.В. БОЙКО, К.І. ЛЬКАНИЧ, С.В. РІЗНИЧОК, В.Ю. МАЙХЕР.</b> ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ AS4U ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ВЕБ-РЕСУРСУ ФАХОВОГО МЕДИЧНОГО ПЕРІОДИЧНОГО ВИДАННЯ.....	120

<b>A.YU.PANCHENKO, N.I. SLIPCHENKO, O.V.ZAICHENKO, I.N.BONDARENKO. COAXIAL APERTURE SENSOR FOR ASSESSING THE STATE OF BIOLOGICAL OBJECTS</b> .....	123
<b>Р.Я. ЯРЕМИК. КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗАТОР ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ АФІННИХ БІОСЕНСОРНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ</b> .....	125
<b>О.І. ДОРОШ, О.Ю. СТЕПАНЮК, Г.Л. КУЧМІЙ, Н.В. ДОРОШ,, М.В. КОЦАРЕНКО. ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕДИЧНИХ ГАДЖЕТІВ ТА МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ БІОМЕДИЧНИХ ДАНИХ</b> .....	127
<b>Д. М. БАРАНОВСЬКИЙ, С. М. ЗЛЕПКО, С. В. ТИМЧИК, С. В. КОСТІШИН, Т. А. ЧЕРНИШОВА. МОБІЛЬНІ ДОДАТКИ І СИСТЕМИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ І ЛІКУВАННЯ ЦУКРОВОГО ДІАБЕТУ 1-ГО ТИПУ</b> .....	130
<b>В.Є. КРИВОНОСОВ, Є.Л. ПІРОТТИ, О.Ю. АЗАРХОВ, Л.Г. КОВАЛЬ, М.В. ПАЛАМАРЧУК. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНИХ ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ МЕДИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ</b> .....	133
<b>В.С. ВОЙЦЕХОВИЧ, С.В. ПАВЛОВ, Н.Т. ПЕТРАШ, Ю.А. ПЕТРУШКО, Н.В. ТИТОВА, В.В. ХОЛИН, О.Н. ЧЕПУРНАЯ. МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНА ЛЕЧЕБНО-ДІАГНОСТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ</b> .....	135
<b>Н.Ф. БОГОМОЛОВ, Ю. Ю. РЕУТСЬКА, А.А. ТРОЦ. КОМПЮТЕРНА МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ СТАТИСТИЧНИХ ТА КОРЕЛЯЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПЕКТЛ-ІНТЕРФЕРОГРАМ</b> .....	139
<b>Я.В. НОСОВА, О.Г. АВРУНИН. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБОНЯТЕЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОЛЬФАКТOMETРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ</b> .....	142
<b>І.Ю. ХУДЕЦЬКИЙ, Ю.В. АНТОНОВА-РАФІ, А.В. ШЕВЧУК. МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ ДЛЯ ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ</b> .....	145
<b>ОБМІН ДОСВІДОМ ТА ТЕХНОЛОГІЯМИ</b>	
<b>Н.О. ПУНЧЕНКО, С.Г. МАЗУРЕНКО, А.С. ДОМБРОВСЬКИЙ, О.О. ПОПОВ, В.О. ЧОПОВСЬКА, В.В. ШЕЛУДЬКО, Ю.Ю. СТОЯНОВ. ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СУДНОВОДІННЯ З ДОПОМОГОЮ БАТІМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ</b> .....	149
<b>О.Б. В'ЮНЕНКО, А.В. ТОЛБАТОВ, В.А. ТОЛБАТОВ. ПЛАНУВАННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ДЛЯ КОМЕРЦІЙНИХ УСТАНОВ</b> .....	151
<b>A.V. TOLBATOV, O.V. VIUNENKO, G.A. SMOLAROV, V.A. TOLBATOV. TOPICAL ISSUES OF UNIVERSITIES' DISTANCE E-LEARNING SYSTEM SUPPORT</b> .....	154
<b>М.С. ПРИХОДЬКО, В.О. СТРИЖ. ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ОБРОБКИ ҐРУНТУ ПРИСАДИБНИХ ДІЛЯНОК</b> .....	157
<b>V.V. SEREDA, V.V. GORIN. A NEW METHOD FOR HEAT TRANSFER PREDICTION IN CONDENSING INSIDE PLAIN TUBES</b> .....	159
<b>І.В. ТРОЦИШИН. КОНСТРУКТОР НАВЧАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ З КУРСУ «ФІЗИКА» (ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ), СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ</b> .....	162
<b>В. В. ПИЛЯВСКИЙ, Р.В. ВАНЬКОВИЧ, В.В. ШТЕФАН, М.О. ФОРОСТЕНКО, К.С. НЕУМИТИХ. ВИБІР СПЕКТРІВ РЕАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ КОЛЬОРОПЕРЕДАЧІ</b> .....	165
<b>В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ. АНАЛІЗ СТОЙКОСТІ СВЕРЛ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ В ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ</b> .....	167
<b>ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b>	
<b>С.Д. РАДКЕВИЧ, А.С. ТІХОНОВ. КВАНТОВИЙ ПРИНЦИП ЗАХИСТУ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ НА ПРЕДСТАВНИЦЬКОМУ РІВНІ МОДЕЛІ OSI</b> .....	169
<b>V.I. TIKHONOV, O.M. YAVORSCAYA, V.V. BEREZOVSKIY. THE SOFTWARE VERIFICATION ISSUES OF THE NETWORK MAXFLOW PROBLEM</b> .....	171
<b>И.Л. АФОНИН, В.В. ГОЛОВИН, Ю.Н. ТЫЩУК. СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ МОРСКИХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ</b> .....	174
<b>В.В. АМУРОВ, М.О. ПАТЛАЄНКО. ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМ ФРАКТАЛЬНОГО СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ВИСОКОЇ І НАДВИСОКОЇ ЧІТКОСТІ</b> .....	177
<b>Н.М. БАЛАН, А.С. КОЛЬЦОВА. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ DRM ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И НОВЕЩАНИЯ ПРОГРАММ УКРАИНСКОГО РАДИО</b> .....	180
<b>В.СН. BERDIEV, N.O. PUNCHENKO, O.O. POPOV. USING THE DATA EXCHANGE FUNCTION BETWEEN INDICATORS IN INTEGRATED NAVIGATION SYSTEMS</b> .....	183
<b>О. В. ОШАРОВСЬКА. АУДІОВІЗУАЛЬНІ ОБ'ЄКТИ І МЕТАДАНА</b> .....	185

<b>O.V. TYKHONOVA. SCHEDULING ALGORITHM FOR CONVEYOR-MODULAR METHOD OF MULTIMEDIA DATA TRANSFER</b> .....	187
<b>O.V. ANDRIEIEVA. SELF-CALIBRATION OF IMAGE FORMER WITH OPTICAL TEST-RING</b> .....	190
<b>І.В.ВОРОНЕНКО, Ю.О.НАМ'ЯСЕНКО. ЕКОНОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТАРИФІВ РИНКУ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ</b> .....	192
<b>Р.С. ОДАРЧЕНКО, Л.О. ХАРЛАЙ. УДОСКОНАЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ОПЕРАТОРА</b> .....	195
<b>О.Є. ДІДУСЕНКО, В.І. ПАНЧЕНКО. МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ПРИСТРОЇВ ПІД УПРАВЛІННЯМ ОС iOS</b> .....	198
<b>А.Г. ЛОЖКОВСЬКИЙ, Є.В. ЛЕВЕНБЕРГ. ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ САМОПОДІБНОГО ТРАФІКА ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ</b> .....	200
<b>Г.О. ДИМОВА. МЕТОД ЗНАХОДЖЕННЯ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНОГО ОБ'ЄКТА ЗА ВИХІДНИМ СИГНАЛОМ</b> .....	202
<b>А.В. МАЗУР, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ. СОЛІТОННІ ВОЛЗ ПІДВИЩЕНОЇ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ</b> .....	205
<b>RUSLAN SKURATOVSKIИ, YEVGEN OSADCHYY. MODERNIZED DIJKSTRA'S ALGORITHM AND MATHEMATICAL MODEL FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM</b> .....	207
<b>М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, Р.П. ПАЛАМАРЧУК. ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ У ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ</b> .....	209
<b>В.М. КИЧАК, І.А. САМОЛЮК, М.В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ. КВАНТОВІ ПРИЙМАЧІ ДЛЯ ТЕРАГЕРЦЕВОГО СПЕКТРУ ЧАСТОТ</b> .....	212
<b>Ю.О. СОТНІЧЕНКО. ОСОБЛИВОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ В АРХІТЕКТУРІ IMS</b> .....	214
<b>Р.Г. БИКОВ. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЗАВАДИ ВІД СУСІДНЬОГО СТІЛЬНИКА</b> .....	216
<b>Э.А. СУКАЧЕВ, А.А. ВАКАРЧУК, С.В. СИДЕНЬ, Е.Г.СМЕХОВ. ПЕРСПЕКТИВА ПЕРЕХОДА К СЕТИ П'ЯТОГО ПОКОЛЕННЯ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГІЇ MIMO И LTE</b> .....	218
<b>А.В. ОНАЦКИЙ, О.В. ЖАРОВА. КРИПТОГРАФИЧЕСКИЙ ПРОТОКОЛ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА С НУЛЕВЫМ РАЗГЛАШЕНИЕМ НА ОСНОВЕ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИНОМИАЛЬНОГО КОЛЬЦА</b> .....	221
<b>А.И. РОМАНОВ, Д.М. ФЕДЮШИНА, Т.Т. ДОНГ. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ LI-FI И ПУТИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ</b> .....	223
<b>О.С. ЗЕМЛЯНСЬКИЙ. ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ ЗА ОЦІНКОЮ СПЕКЛ-СТРУКТУР</b> .....	226
<b>ТІМКОВ V.F., ТІМКОВ S.V., ЗНУКОВ V.A., АФАНАСІЄВ К.Е. THE PLANK'S CONSTANT: LENGTH, MASS, TIME AND THE FINE STRUCTURE CONSTANT COMBINE GRAVITATIONAL AND ELECTROMAGNETIC INTERACTION</b> .....	228

УДК 389:638.011.54 и 621.315:001(06)

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины  
vladikon@kievnet.com.ua**ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ МЕТРОЛОГИИ  
ВЧЕРА, СЕГОДНЯ И ЗАВТРА**

*Аннотация. В работе акцентируется внимание на необходимость разработки мега-стратегии развития фундаментальных наук, прежде всего — мега-науки метрологии, направленное на решение фундаментальных проблем инновационного развития, переоснащение и достижение пятого и последующих технологических укладов в наукоемких отраслях материального производства, в частности, в приборостроении.*

*Утверждается, что на сегодняшний день научно-технический прогресс в промышленности не возможен без развития общего, научного и специального приборостроения. В этой связи, политика государства должна быть направлена на поддержку мега-стратегии развития фундаментальных наук, прежде всего, — мега-науки метрологии, на поддержку первоочередного развития приборостроения, как наиболее наукоемкой отрасли материального производства.*

*Констатируется, что в фундаментальной метрологии и приборостроении накопилось множество проблем, решением которых не занимаются ни Госстандарт, ни Министерство образования и науки Украины, ни Национальная академия наук Украины. На сегодня отсутствуют государственные и академические программы развития мега-науки метрологии и составляющих ее научных направлений и наук. Такое положение дел является тормозом в развитии научно-технического потенциала страны.*

*Описаны существующие и новые проблемы фундаментальной метрологии, которые требуют своего решения.*

*Ключевые слова: стратегия, мега-науки, метрология, проблемы, измерения.*

V. T. KONDRATOV

V.M.Glushkov Institute of cybernetics of National academy of Science of Ukraine  
vladikon@kievnet.com.ua**PROBLEMS OF FUNDAMENTAL METROLOGY YESTERDAY, TODAY AND TOMORROW**

*The summary. In paper the attention to necessity of working out of mega-strategy of development of fundamental sciences, first of all — the metrology mega-sciences, directed on the decision of fundamental problems of innovative development, re-equipment and achievement of the fifth and the subsequent technological ways in the high technology branches of production of goods, in particular, in instrument making is focused.*

*It is asserted that to date scientific and technological progress in industry is not possible without the development of general, scientific and special instrument making. In this regard, the state policy should be aimed at supporting the mega-strategy of the development of fundamental sciences, first of all, mega-science of metrology, to support the priority development of instrument-making as the most knowledge-intensive branch of material production.*

*It is stated that in fundamental metrology and instrumentation, a lot of problems have accumulated, the solution of which is neither the State Standard Committee nor the Ministry of Education and Science of Ukraine, nor the National Academy of Sciences of Ukraine. At present, there are no state or academic programs for the development of mega-science of metrology and the scientific directions and sciences that make up it. This impedes the development of the country's scientific and technical potential.*

*Existing and new problems of fundamental metrology which demand the decision are described.*

*Keywords: strategy, mega-sciences, metrology, problems, measurements.*

**Мега-стратегия развития фундаментальных наук**

Мега-стратегию развития фундаментальных наук — стратегию закономерного системного объединения конечной совокупности фундаментальных наук и теорий в соответствующие мега-науки и обеспечить их комплексное развитие, направленное на решение фундаментальных проблем инновационного развития, переоснащение и достижение пятого и последующих технологических укладов в наукоемких отраслях материального производства, на обеспечение устойчивого развития научно-технического потенциала данной отрасли и страны в целом [1].

Создание мега-наук, как системы фундаментальных знаний по отраслям народного хозяйства, является важнейшей государственной задачей. В первую очередь это касается фундаментальной метрологии и приборостроения.

*Мега-наука метрология* — это конечная совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых фундаментальных наук и теорий с общими и частными законами, принципами, методами, математическими моделями, положениями, условиями и ограничениями, развивающая стратегии прямых и (сверх)избыточных измерений при линейной, нелинейной и нестабильной функции преобразования измерительного канала, предлагающая новые явления (например, явление переноса энергии и информации через проводящие и слабо проводящие среды), эффекты и методы измерительного преобразования величин разной физической природы, и предсказывающая достижимые результаты по качеству измерений, а также по качеству и метрологической

надежности интеллектуальных измерительных систем и приборов, в том числе и сверхминиатюрных [1-3].

За последние 5-7 лет мега-наука метрология обогатилась 12-ю новыми теориями. В настоящее время мега-наука метрология объединяет: 1) метрологию с ее двумя стратегиями развития, — стратегией прямых, стратегией избыточных и сверхизбыточных измерений, теорию и методы магнитопольных измерений; 2) теорию структурного анализа уравнений избыточных измерений; 3) комбинаторику уравнений связи между физическими величинами; 4) теорию динамического усреднения; 5) метрологическую программику; 6) аппроксиматику; 7) метрологическую матстатистику; 8) метронику; 9) видеонику; 10) схемотехнику (теорию и практику); 11) микрометронику; 12) сенсорику.

На сегодняшний день эффективное развитие промышленности не возможно без развития общего, научного и специального приборостроения. В этой связи, политика государства должна быть направлена на поддержку мега-стратегии развития фундаментальных наук, прежде всего, — мега-науки метрологии, на первоочередную поддержку развития приборостроения, как наиболее наукоемкой отрасли материального производства.

Фундаментальная метрология — это та ветвь науки об измерениях, предметом которой является разработка фундаментальных основ этой науки и развитие на ее базе прикладных теорий и научных направлений. Фундаментальная метрология выявляет новые физические принципы измерений, совершенствует существующие, создает и развивает новые методы познания физических явлений и процессов, обеспечивающие

заданную точность и достоверность результатов измерений, осуществляет связь теории и практики на уровне математических моделей методов измерений и соответствующих технических решений (структур) средств измерений (СИ),

#### ***Проблемы метрологии***

С 2000-х годов в фундаментальной метрологии и приборостроении накопилось множество проблем, (см. рисунок) решением которых не занимаются ни Госстандарт, ни Министерство образования и науки Украины, ни Национальная академия наук Украины. На сегодня отсутствуют государственные и академические программы развития мега-науки метрологии и составляющих ее научных направлений и наук.

Изучение реального состояния метрологии начала XXI-го века и новых ее достижений, дало возможность сформулировать уже семь групп проблем фундаментальной метрологии, которые необходимо решать в ближайшие годы (см., с учетом [5], рисунок).

- проблемы повышения качества измерений;
- проблемы метрологической надежности (МН) СИ и средств избыточных измерений (СИИ);
- проблемы метрологической эффективности;
- проблемы профессионального научно-технического языка;
- проблемы нанометрии;
- проблемы обработки результатов прямых, избыточных и сверхизбыточных измерений [6];
- проблемы магнитопо-левой теории измерений.

#### ***Новые проблемы фундаментальной метрологии***

На сегодняшний день назрела острая необходимость в решении проблемы измерения скрытой внутренней энергии Ферми однородных или разнородных материалов.. Это обусловлено появлением огромной номенклатуры новых материалов и наноматериалов с разными механическими, магнитными и электрическими свойствами.

Причем, если приборы для исследования механических и магнитных свойств материалов разработаны на достаточно высоком уровне, то приборы для фундаментальных исследований внутренней энергии Ферми материалов отсутствуют. Потребность в измерении энергии Ферми большой номенклатуры современных материалов и веществ, а также энергий дискретных энергетических уровней Ландау обусловили необходимость обозначить новые проблемы фундаментальной метрологии.

В XXI веке, — веке глобальных перемен и динамического инновационного развития шестого технологического уклада, назрела острая необходимость в решении следующих актуальных проблем фундаментальной метрологии [2, 3]:

1) создание теории взаимодействия магнитных полей высоких и сверхвысоких частот с отрицательно заряженными квазичастицами или электронами материалов макромира. Это необходимо для решения фундаментальных проблем метрологии, связанных с повышением качества измерений, изучением электрических и спектральных свойств этих материалов, измерением и использованием запасенной в них потенциальной энергии;

2) создание нового научного направления в метрологии, связанного с измерением величин разнородной физической природы с использованием фундаментального явления переноса энергии и информации сквозь проводящие и слобопроводящие среды;

3) измерение (или преобразование) скрытой внутренней энергии Ферми исследуемых образцов (ИО) материалов и веществ: при масштабных экспериментальных исследованиях свойств существующих и новых материалов в нормальных условиях их эксплуатации; при идентификации материалов; при создании новых материалов с диа- и парамагнитными свойствами, материалов с разнородной электро- и теплопроводностью, биоматериалов с новыми вкусовыми качествами (овощей, картофеля, моркови, свеклы, репы, грибов-дождевиков и т.п., фруктов — яблок, груш и др.), суперизоляционных материалов для электроники, автомобилестроения, самолетостроения, медицины и т.д. Если для исследования механических и магнитных свойств материалов разработаны приборы на современном уровне, то для фундаментальных и прикладных исследований внутренней энергии Ферми материалов макромира таковые отсутствуют;



Рис.1.. Структура проблем фундаментальной метрологии

4) измерение или преобразование в электрический сигнал энергии дискретных энергетических уровней Ландау ИО материалов макромира. Это связано с появлением огромной номенклатуры композитных материалов, наноматериалов и других с разными механическими, магнитными, электрическими и иными свойствами и структурами. Следует отметить, что на сегодня отсутствуют приборы для измерения энергии дискретных энергетических уровней Ландау;

5) разработка методов восприятия и преобразования (снятия) информации о неоднородности материи в электрический сигнал (постоянный или переменный), удобный для дальнейшей обработки, накопления, преобразования и передачи по каналам связи;

6) объяснение появления, учет и формализованное описание разных видов электрических токов: конвекционного тока или ток переноса — электрического тока, обусловленного движением отрицательно заряженных квазичастиц — электронов в физической системе замкнутого типа; тока смещения Максвелла; тока проводимости — тока,

обусловленного движением электронов в физической системе открытого типа, например, через неподвижный прямой проводник определенной длины [2, 5].

Дополнительно можно назвать проблему материаловедения — создания магнитомягких ферромагнитных материалов для изготовления высокочастотных броневых сердечников с равномерной частотной характеристикой в диапазонах частот от единиц до десятков, сотен и более мегагерц. Без таких сердечников невозможно создание магнитопольевых преобразователей и приборов для исследований свойств материалов (веществ), особенно на сверхвысоких частотах.

Полагаем, что фундаментальные исследования электронных, магнитных и механических свойств материалов, в том числе и наноматериалов, не являются полноценными и завершенными без измерений энергетических уровней Ферми и дискретных энергетических уровней Ландау. Главной причиной отсутствия таких исследований является то, что до настоящего времени не достаточно глубоко исследованы и изучены процессы взаимодействия импульсных магнитных полей с отрицательно заряженными квазичастицами материалов макромира.

### **Выводы**

Научный прорыв в освоении шестого технологического уклада не возможен без реализации мега-стратегии развития фундаментальных наук.

Эффективное развитие промышленности возможно только при первоочередном развитии общего, научного и специального приборостроения, как наиболее наукоемкой отрасли материального производства.

Политика государства должна быть направлена на поддержку и интенсивное развитие мега-науки метрологии, как движителя научно-технического прогресса, а также и на решение проблем составляющих ее наук.

Пришло время переосмысления внутренней политики страны с тем, чтобы направить усилия ученых и специалистов на динамическое инновационное развитие промышленности страны, на решение научно-технических задач шестого технологического уклада, на создание новых поколений техники с использованием нанотехнологий.

### **Литература**

1. Кондратов В.Т. Мега-наука метрология. Матеріали 17-ї МНТК «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», 8-13 червня 2017 р., м. Одеса (Затока). 2017 — С. 19-22.
2. Кондратов В.Т. Фундаментальная метрология: проблема измерения энергии Ферми Тезисы докладов 16-й междунар.науч.-техн. конф. «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (ВОТТП-15\_2016), м. Одеса (Затока) 10-15 червня. — С. 27-30.
3. Кондратов В.Т. Магнитопольевой эффект проф. Кондратова В.Т. Матеріали 17-ї МНТК «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах», 8-13 червня 2017 р., м. Одеса (Затока). 2017 — С. 64-67.
4. Кондратов В.Т. Проблемы, решаемые методами избыточных измерений. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. (ВОТТП-13-2014). Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції, 6-12 червня 2014 р., Одеса. С. 26–30.
5. Кондратов В.Т. Проблемы фундаментальной метрологии / В.Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2011.— № 4. — С. 59-70.
6. Кондратов В.Т. Проблемы обработки результатов многократных измерительных преобразований физических величин. Тезисы докладов 15-й междунар.науч.-техн. конф. «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (ВОТТП-15\_2015), м. Одеса (Затока) 10-14 вересня.— С. 9-12.

### **References**

1. Kondratov V.T. Mega-nauka metrologiya. Materialy 17-yi MNTK «Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh», 8-13 chervnya 2017 r., m. Odesa (Zatoka). 2017 — S. 19-22.
2. Kondratov V.T. Fundamentalnaya metrologiya: problema izmerenyya énergy Fermi Tezisy dokladov 16-y mezhhdunar.nauch.-tekhn. konf. «Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh» (VOTTP-15\_2016), m. Odesa (Zatoka) 10-15 chervnya. — S. 27-30.
3. Kondratov V.T. Magnytopolevoy éffekt prof. Kondratova V.T. Materialy 17-yi MNTK «Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh», 8-13 chervnya 2017 r., m. Odesa (Zatoka). 2017 — S. 64-67.
4. Kondratov V.T. Problemy, reshaemye metodamy izbytochnykh yzmereniy. Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna tekhnika v technolohichnykh protsesakh. (VOTTP-13-2014). Materialy XIII mizhnarodnoyi naukovotekhnichnoyi konferentsiyi, 6-12 chervnya 2014 r., Odesa. S. 26–30.
5. Kondratov V.T. Problemy fundamentalnoy metrologiy / V.T. Kondratov // Visnyk Khmelnytskogo natsionalnogo universytetu. Tekhnichni nauky. — 2011.— № 4. — S. 59-70.
6. Kondratov V.T. Problemy obrabotky rezultatov mnogokratnykh yzmyertelnykh preobrazovaniy fyzycheskikh velichin. Tezysy dokladov 15-y mezhhdunar.nauch.-tekhn. konf. «Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna tekhnika v tekhnologichnykh protsesakh» (VOTTP-15\_2015), m. Odesa (Zatoka) 10-14 veresnya.— S. 9-12.

**«ТАБЛИЦЯ МЕНДЕЛЄЄВА» ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА - КЛАСИФІКАЦІЙНА МОДЕЛЬ ЕЛЕМЕНТІВ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ОЛЕКСАНДРА БРОВАРЦЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СУЧАСНИХ ЕФЕКТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ РОСЛИННИЦТВА**

**Анотація.** Відомо, що Україна має один з самих високих показників родючості ґрунтів у світі. У той же час, питанню охорони родючості ґрунтів не приділяється належної уваги. Прогресують різні види руйнування і деградації ґрунтів: еродованість, інтенсивність мінералізації гумусу, переуціління риллі, підкислення та осолонцювання раніше нейтральних ґрунтів – основна риса українських земель на сьогодні.

Сьогодні на ринку представлено широкий спектр техніки для реалізації технологій точного землеробства.

Про те не зважаючи на все це, відсутні компанії, які можуть фахово «під ключ» «заточити» увесь наявний арсенал технологій точного землеробства у межах певного агропідприємства.

Як правило кожна компанія, яка «пропагує» точне землеробство, «накриває» свій сегмент, наголошуючи на його важливості. Все це створює перешкоди для ефективного впровадження комплексу технологій точного землеробства.

Потрібне розуміння того, що лише комплексний підхід при реалізації точного землеробства дасть можливість отримати очікуваний економічний результат.

Існуючі способи моніторингу стану сільськогосподарських угідь не дають можливості забезпечити високі вимоги до екологічної та продовольчої безпеки до виробництва сільськогосподарської продукції.

Очевидно, що для правильної організації управління якістю навколишнього природного середовища абсолютно необхідною умовою є організація системи моніторингу. Враховуючи, що в основі стратегії і тактики управління економічно прибутковим (корисним) біорізноманіттям фітоценозів, зокрема і ентоморізноманіттям, є надійний, швидкий та ефективний моніторинг стану природних та культурних екосистем, виникла необхідність розробки принципово нових ефективних і високопродуктивних сенсорних систем моніторингу залежно від обраних напрямків землеробства та ряду інших параметрів.

**Ключові слова:** технічні системи оперативного моніторингу, екологічна безпека, продовольча безпека.

О.О. BROVARETS

Head of the department of informational, technical and natural sciences  
Kyiv Cooperative Institute of Business and Law  
brovaretsnau@ukr.net**"PERIODIC TABLE" FOR EFFECTIVE AGRICULTURAL PRODUCTION CROP PRODUCTION - CLASSIFICATION MODEL PRECISION FARMING ELEMENTS FOR ALEXANDER BROVARTSYA REALIZATION OF MODERN EFFICIENT TECHNOLOGIES FOR CROP**

**Abstract.** It is known that Ukraine has one of the highest fertility rates in the world. At the same time, the issue of soil fertility protection is not given due attention. Different types of destruction and degradation of soils are progressing: erosiveness, intensity of mineralization of humus, redevelopment of arable land, acidification and alkalization of previously neutral soils - the main feature of Ukrainian lands today.

Today, the market presents a wide range of techniques for the implementation of precision farming technologies.

Notwithstanding all this, there are no companies that can "turn off" on a professional "turnkey basis" all available arsenal of precision farming technologies within a particular agro-enterprise.

As a rule, every company that "promotes" precision agriculture "covers" its segment, emphasizing its importance. All this creates obstacles for the effective implementation of a complex of precision farming technologies.

It needs an understanding that only an integrated approach to the implementation of precise agriculture will provide an opportunity to obtain the expected economic result.

Existing methods of monitoring agricultural lands will not allow for high requirements for ecological and food security to produce agricultural products.

It is obvious that the organization of the monitoring system is absolutely essential for the proper organization of the quality management of the environment. Considering that the strategy and tactics of management of economically viable (useful) biodiversity of phytocoenoses, in particular entomorphisms, are based on the reliable, rapid and effective monitoring of the state of natural and cultural ecosystems, it became necessary to develop fundamentally new efficient and high-performance sensory monitoring systems depending on the chosen areas of agriculture and a number of other parameters.

**Key words:** operational monitoring systems, ecological safety, food safety.

Відсутність стандартів, настанов, приписів, навіть елементарних систем класифікації та методів систематизації елементів точного землеробства провокує/змушує використовувати агропідприємства різного роду технічні системи точного землеробства без розуміння сутті їх виконуваного процесу, без розуміння того що відбувається та доцільності, ефективності і необхідності їх використання при виконанні тієї чи іншої технологічної операції, відповідності цих систем рівню точного землеробства. Часто такий досвід



лежить на досвіді менеджера дилерської компанії, яка «пропагує» ту чи іншу технологію. Зрозуміло, що задачею такого менеджера є збільшення продажу таких систем без їх розуміння кінцевої необхідності, ефективності та доцільності їх використання при реалізації технологій точного землеробства.

Все це створює передумови для одностороннього використання елементів технологій точного землеробства при виконанні технологічних операцій і як наслідок зниження їх ефективності та доцільності використання.

Це створює необхідність класифікувати елементи технологій точного землеробства, що дасть можливість забезпечити увесь комплекс виконання технологічних процесів сільськогосподарського виробництва при реалізації сучасних ефективних технологій рослинництва.

Саме тому пропонується модель для класифікації елементів точного землеробства Олександра Броварця для реалізації сучасних технологій рослинництва, яка за зразком таблиці Менделєєва кожному елементу цих технологій визначить свою комірку для реалізації та їх послідовність, а відповідно дасть розуміння ефективності та необхідності їх використання.

З цією метою розроблена система класифікації різних елементів точного землеробства за етапами впровадження та необхідності їх впровадження на кожному з етапів.

Для класифікації елементів точного землеробства складена наступна таблиця.

Таблиця

**Класифікаційна модель Олександра Броварця для реалізації технологій точного землеробства**

№ п/п	Технологічний процес	№ підкласу	Елементи точного землеробства
1	Агрохімічне обстеження полів	1.1.	Визначення координат місцезнаходження об'єкта з використанням навігаційних систем.
		1.2.	Виділення границь досліджуваного поля для реалізації елементів технологій точного землеробства.
		1.3.	Технічна система локального оперативного моніторингу електропровідних характеристик ґрунтового середовища.
		1.4.	Технічна система локального оперативного моніторингу електромагнітних характеристик ґрунтового середовища.
		1.5.	Визначення статичної твердості ґрунту по горизонтах оброблюваного шару.
		1.6.	Визначення динамічної твердості (щільності) по поверхні сільськогосподарських угідь.
		1.7.	Виділення зон неоднорідності/варіабельності на основі даних про поле.
		1.8.	Пробовідбірники для відбору зразків ґрунтових проб.
		1.9.	Агрохімічне обстеження лабораторією.
		1.10.	Системи технічного зору розміщені на різних агрегатах (наземні, повітряні, космічні).
		1.11.	Метеостанції для контролю стану агробіологічного стану сільськогосподарських угідь (ґрунту, повітря, погоди).
2	Основний обробіток	2.1.	Визначення глибини виконання технологічної операції.
		2.2.	Диференційоване виконання технологічних операцій основного обробітку ґрунту.
		2.3.	Плужний обробіток.
		2.4.	Дисковий обробіток.
		2.5.	Технологія No-till.
		2.6.	Технологія Strip-till.
3	Передпосівна	3.1.	Основне диференційоване внесення добрив в розкид.

№ п/п	Технологічний процес	№ підкласу	Елементи точного землеробства
	підготовка	3.2.	Основне диференційоване внесення добрив в рядок.
		3.2.	Основне внесення засобів захисту рослин.
		3.4.	Системи оперативного моніторингу якості виконання технологічних операцій.
4	Сівба	4.1.	Диференційована сівба сільськогосподарських культур в рядок.
		4.2.	Диференційована сівба сільськогосподарських культур в розкид.
		4.3.	Диференційована сівба сільськогосподарських культур по мерзлоталому ґрунту.
		4.4.	Диференційоване внесення мінеральних добрив при сівбі сільськогосподарських культур.
		4.5.	Диференційоване внесення органічних добрив при сівбі сільськогосподарських культур.
5	Вегетація	5.1.	Оперативний моніторинг засобами повітряного базування, дронами.
		5.2.	Оперативний моніторинг засобами супутникового моніторингу.
		5.3.	Диференційоване внесення мікроелементів оприскувачами.
		5.4.	Диференційоване внесення хімічних засобів захисту.
		5.5.	Диференційоване внесення органічних засобів захисту.
6	Збір урожаю	6.1.	Моніторинг урожайності.
		6.2.	Датчик вологості.
		6.3.	Перевантажувачі з вагами.
7.	Програмні засоби та продукти	7.1.	Спеціалізоване програмне забезпечення для роботи із елементами точного землеробства
		7.2.	Софти.
		7.3.	Сайти.

В кінцевій меті будуть прописані чіткі правила та нормативи використання технологій точного землеробства. Зважаючи на початкову спробу такої системи вона є не повною, і містить модуль для надбудови та доповнення. Тому кожен бажаючий може дати свої пропозиції по наповненню такої системи. Класифікація методів, підходів та систем точного землеробства та підходів до реалізації систем точного землеробства на основі запропонованого переліку товарів і послуг. На даний момент відсутній економічний аналіз реалізації тих або інших технологій різного роду компаніями, що є важливою основою реалізації технологій точного землеробства. У подальшому відбуватиметься розшифрування кожного пункту такої системи та їх уточнення за допомогою досвіду або особистого звернення керівника або уповноваженого даної компанії, яка реалізує елементи точного землеробства.

Така класифікація дасть можливість забезпечити визначення економічної ефективності кожного кроку при реалізації технологій точного землеробства.

## НАУКОВІ ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕР – ФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПІВ

*Розглядається теорія листового штампування і засоби виміру які продовжують розвиватися і удосконалюватися. Процес розвитку листового штампування далеко не завершон. Нині спостерігається тенденція усе більш інтенсивного вдосконалення способів контролю штампування і устаткування, вживаного для штампування. Що стосується кібер - фізичних систем (КФС), то вони належать до сучасних світових пріоритетних проблем і відносяться до майбутньої четвертої промислової революції(І4.0) або "Industry 4.0". Для забезпечення якості виробництва штампів використовується активний метод контролю та автоматичний коригування зносу різального інструменту з використанням лазерних засобів виміру. «Нова технологія» різко підвищує ефективність за рахунок скорочення людських ресурсів, термінів і підвищення якості. Це дозволяє вирішити основні проблеми: централізоване виробництво і ремонт деталей, автоматизацію процесів вимірювань і підвищення точності.*

**Ключові слова:** інтегрована система, підготовка виробництва, кібер - фізична система, промислової революції, «Нова технологія», укрупнений технологічний процес.

G. KLESCHEV

Odesa state academy of the technical adjusting and quality, Odesa

## SCIENTIFIC BASES OF METROLOGY PROVIDING ARE CYBERBUCK - PHYSICAL SYSTEM MAKING DETAILS OF STAMPS

*Development theory of the sheet punching and measuring facilities which continue to develop and perfected. Process of development of the sheet punching far not завершон. Presently there is a tendency of more intensive perfection of methods of control of punching and equipment, used for punching. What a cyberbuck touches - physical systems, then they belong to the modern world priority problems and behave to future fourth industrial revolution(I 4.0) or "Industry 4.0". For providing of quality of production of stamps of used an active method of control and automatically adjustment of wear of cutting instrument is with the use of laser facilities of measuring. "New technology" sharply promotes efficiency due to reduction of human capitals, terms and upgrading. It allows to work out basic problems: the centralized production and component overhaul, automation of processes of measuring and increase of to exactness.*

**Keywords:** computer-integrated system, preproduction, a cyberbuck is the physical system, industrial revolution, "New technology", large-sized technological process.

Основою КФС є інформаційно-технологічні системи з інтеграцією в них обчислювальних ресурсів. У таких системах датчики, устаткування і інформаційно - вимірювальні системи сполучені упродовж усієї спільної роботи, яка виходить за рамки одного підприємства. Нині підготовка виробництва і виготовлення штампів спеціалізована за галузями і окремими підприємствами. Вперше пропонується по «Нової технології» процес автоматизованої підготовки виробництва штампів, їх виготовлення в металі і ремонт не прив'язувати до умов конкретній галузі або до окремого підприємства, а виготовляти їх централізовано на декількох (як мінімум 2-х) спеціалізованих підприємствах України із застосуванням КФС ВДШ з активним лазерним контролем. У моделі наукових основ метрологічного забезпечення КФС ВДШ з укрупненим технологічним процесом представлені наступні операції з їх метрологічним забезпеченням: *вхідний контроль* матеріалу (листа, смуги, стрічки); *обробка чорнова*; *термообробка деталей* штампів; *обробка чистова*; *обробка формотворного інструменту і колонок*. Основний принцип роботи моделі «Нової технології» процесу проектування і виробництва деталей штампів полягає в наступному. В країні створюються два (як мінімум) підприємства - дублерів, які проектують і виготовляють в металі усі деталі штампів на ПЕОМ і на верстатах з ЧПУ, залишаючи усі відомості про деталі штампів у своїх БДІЗ. За "Новою технологією" заводам - замовникам штампів видаються штампи тільки в металі, а документація: креслення і карти технологічні не видаються (без паперова технологія). У цьому випадку вивільняються конструктора, технологі, а КБ по проектуванню штампів ХЛШ – різко скорочуються (безлюдна і безпаперова технологія). Для ремонту штампів і штампів дублерів (яких замовляють від 2 до 4 і більш) замовник відвантажує їх підприємствам-виробникам. Підприємство-виробник, маючи усі дані про штампи у своїх БДІЗ, робить ремонт, використовуючи ту саму КФС ВДШ, на тому самому устаткуванні і тими самими робітниками (продовження «життєвого циклу» штампів), а замовнику не треба мати: цех по ремонту штампів, обслуговуючий персонал, устаткування; платити за площі для ремонтного цеху, матеріали, за метал і т.д. Оскільки витрати на ремонт у виробника істотно менше, ніж для j -го підприємства - замовника штампів, відпадає потреба у виготовленні документації, наявності свого ремонтного цеху (ділянки) і обслуговуванні ремонтного устаткування. Як видно, собівартість кінцевої продукції (штампованих деталей), виготовленої на штампах, при новій моделі технології проектування і виготовлення штампів істотно менше, оскільки підприємство не несе витрати, пов'язані з ремонтним цехом і обслуговуванням ремонтного устаткування, а також витрати на купівлю документації і, у зв'язку з цим, немає необхідності мати

конструкторів, технологів і робітників високої кваліфікації для ремонту штамів. Замовник у себе вивільняє сотні конструкторів, технологів і робітників високої кваліфікації, що брали участь в ремонтних роботах, а також заощаджуються площі, устаткування, необхідні для ремонту. На підставі вище викладеного КФС ВДШ практично відноситься до "бережливого" виробництва оскільки економить: виробничі площі, матеріали, ріжучі інструменти, вивільняє проектувальників і робітників високої кваліфікації.

Це дозволяє вирішити основні проблеми: централізоване виробництво і ремонт деталей, автоматизацію процесів вимірювань і підвищення точності, а також скорочення трудомісткості і вартості виготовлення штамів в умовах ринкової економіки, підвищити ефективність і конкурентоспроможність у промислових галузях.

«Нова технологія» автоматизованого процесу виробництва штамів в математичному розумінні відноситься до теорії А.К. Эрланга- теорії масового обслуговування з використанням апарату Марківських ланцюгів. Так замовлення штамів за «Новою технологією» на проектування і виготовлення для «підприємств- виробників», а тим більш штампи, які надійшли на ремонт від «заводів замовників» носять імовірний характер. Потреба у виробництві штамів по країні складає десятки тисяч і носить масовий характер. Моменти вступу замовлень - випадкові і носять хаотичний характер, через що у вхідних «потоків пуассона» (на проектування і на ремонт), утворюються випадкові нерівномірні завантаження устаткування. «Нова технологія» різко підвищує ефективність за рахунок скорочення людських ресурсів, термінів, трудовитрат і підвищення якості.

### Література

1. Клещев Г. М. Патент "Спосіб реалізації активного методу вимірювання і корегування зносу інструменту з використанням лазерних приладів на основі інтегрованої системи автоматизації виробництва штамів", № 111088, зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.10.2016.бюл.№ 20.

2. Клещев Г. М. Нова технологія виробництва штамів холодного листового штампування для будівництва і сільгоспмашинобудування/Г. М. Клещев, Л.В. Коломиец, М. Г. Клещев// Збірник Міжнародних науково- технічних праць MOTROL'2014, Том15, №1 LUBLIN, Польща, С. 157- 161

3. Клещев Г.М. Интегрированная адаптивная сквозная компьютерная технология механообработки деталей штампов холодной листовой штамповки / Г.М.Клещев //Збірник наукових праць військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка – Київ, 2011. – Вип. 30.– С. 110–114.

4. Клещев Г.М. Реалізація методології метрологічних методів в кібер – інтегрованої інформаційно – вимірювальної системі/Г.М.Клещев//Міжнародний науково- технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» Хмельницький. Вип№3.2017. С.113-116.

5. Клещев Г.М. Лазерные средства измерения активного процесса контроля инструмента штампов холодной листовой штамповки/Г.М.Клещев и др.//Міжнародний науково- технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» Хмельницький. Вип№1.2015. С.204-208.

### References

1. Kleshev G. Patent "Sposiv realizazii aktivnogo metody vumiryvanna i koregyvanna znocy instryventy s vukoristannam lazernyx pruladiv na osnovi integrovanoi systems of the avtomatuzazi vurobnuzva of stampiv" № 111088, zareestrovano v Derzavnomy reestri patentiv Ukrainu na korusnu modely 25.10.2016.

2. Kleshev G. Nova tehnologia proizvodstva stampov xolodnoiy listovoi shtampovki dla stroitelstva i selxozmaschinostroenia/G. Kleshev, L. Kolomiez, M. Kleshev//Zbornik Misxnarodnix naykovo - texnisxnx praz MOTROL'2014, Tom15, №1 LUBLIN, Polyscha, C.157- 161.

3. Kleshev G. Integrirovanna adaptivna skvoznay komputer tehnology mechanoobrabotki detales stampiv xolodnouy listovouy stampovki/G.Kleshev//Zbirnik naykovo praz viyckovogo instytytu Kuevskogo nazionalnogo universutety imeni Tarasa Schevxenko- Kuiv, 2011.-Vup.30.-C.110-114.

4. Kleshev G.Realizazii metodologii metrologiznux metodiv v kiber-integrovanoi informaziino-vumiruvalnoi sustemi/G. Kleshev//Vymirjuvalna ta obchyslyvalna tehnik v tehnologichnyx procesax. Xmelniczkiy. Vup№3. 2017. C.113-116.

5. Kleshev G. Lazernue sredstba izmerenia aknivnogo kontrola instrumenta stampov xolodnogo listovogo stampovki/ G. Kleshev, A. Bilichenko i dr.//Vymirjuvalna ta obchyslyvalna tehnik v tehnologichnyx procesax. Xmelniczkiy. Vup№1.2015.S.204-208.

І.В.ТРОЦИШИН

ОНАЗ ім.О.С.Попова

vottp.tiv@gmail.com

О.П.ВОЙТЮК

ВАТ НОВАТОР, Хмельницький

## ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДОЛОГІЯ АКТИВНОЇ ПРОТИДІЇ БПЛА ЗА АЛГОРИТМОМ АКАД

*Технологія АКАД (аерокобра-антидрон), передбачає виявлення, відслідковування та нейтралізацію БПЛА в зоні територій які потребують захисту від повітряних об'єктів.*

*Принцип дії відповідає поведінці реальних об'єктів (кобри) на етапах вистеження і полювання на жертву, включаючи далеке виявлення (оптичне, радіопеленгація, інфрачервоне самонаведення), захоплення цілі, запуск за напрямком відстеження цілі, (дальня зона), перехід в зону теплового наведення (ближня зона), із одночасним блокування каналів зв'язку, які були індикатором радіопеленгу.*

*Алгоритм та сукупність комплексної дії різних систем самонаведення і радіоподавлення забезпечує (як після плювка ядом у реальної кобри), стабілізацію руху БПЛА, та створення ідеальних умов для виконання функції КАМІКАДЗЕ, (укус знедвиженої жертви коброю) стосовно цілі БПЛА - порушника повітряного простору.*

*Вказана технологія є подвійного застосування (військового (нейтралізація розвідувально-диверсійних польотів над закритими об'єктами), та цивільного (захистити об'єкти територій приватної власності від відео фото знімання).*

*Реалізація комплексу можлива у вигляді автономних БПЛА «камікадзе», так і у вигляді модулів до існуючих моделей БПЛА (шляхом приєднання модуля АКАД та його прицільної адаптації), що в рази збільшує можливість використання (особливо в масових моделях).*

*Основним принциповим підходом є використання квантової теорії вимірювального перетворення, яка ПРИНЦИПОВО забезпечує ОДНОЧАСНЕ покращення в 10-100разів і точності і швидкості вимірювальних операцій, в режимах відстеження, самонаведення, а також радіопеленгації і селективного радіоблокування систем керування та радіообміну БПЛА-цілі.*

*Ключові слова: Технологія АКАД, нейтралізація БПЛА, автономні БПЛА «камікадзе», самонаведення і радіоподавлення, радіопеленгація, інфрачервоне самонаведення.*

I.V. TROCSYCHYN

ONAT im.O.S.Popova

vottp.tiv@gmail.com

O.P. VOYTYUK

OJSC NOVATOR, Khmelnytsky

## PRINCIPLES AND METHODOLOGY OF ACTIVE COUNTERACTION OF UAV BY ALGORITHM AKAD

*The technology of the AKAD (airborne antidrone), involves the detection, tracing and neutralization of UAVs in the area of the territories that need protection from airborne objects.*

*The principle of action corresponds to the behavior of real objects (cobra) in the stages of tracing and hunting for the victim, including remote detection (optical, radio radar, infrared homing), target capture, launch in the direction of target tracking (distant zone), transition to the thermal guidance zone (near-field), with the simultaneous blocking of communication channels, which were an indicator of a radio call.*

*The algorithm and the complex combination of different systems of self-propagation and radio-suppression provide (as after spitting poison in a real cobra), stabilization of the UAV movement, and the creation of ideal conditions for the performance of the CAMICIDZE function (a bite of an unborn victim of a cobra) in relation to the purpose of the UAV, the violator of the airspace. The indicated technology is double-use (military (neutralization of reconnaissance-sabotage flights over closed objects), and civilian (to protect objects of territories of private property from video shooting photos).*

*The implementation of the complex is possible in the form of autonomous UAK UAK "Kamikaze", as well as modules to existing UAV models (by joining the AKAD module and its target adaptation), which in turn increases the possibilities of use (especially in mass models).*

*The basic principle approach is to use the quantum theory of measuring transformation, which PRINTSIPOVO provides simultaneous improvement in 10-100 times and the accuracy and speed of measurement operations, in tracking modes, self-guidance, as well as radio-exposure and selective radio-locking of control systems and radio-change of the UAV target.*

*Key words: AKAD technology, UAV neutralization, autonomous UAK "kamikaze", self-propagation and radio-suppression, radio bearings, infrared homing.*

Всі існуючі системи ПВО і ПРО не здатні виконувати весь комплекс протидії БПЛА, у всьому світі (наприклад «Петріоти і Томагавки» не збили жодного малагабаритного БПЛА), а існуючі спроби різних підходів, не мають достатнього ефекту саме із за використання «класичних вимірювальних та перетворювальних технологій для радіосигналів», в широкому їх розумінню. В той же час, переваги у 10-100 разів, за «постійним для класики параметром ТОЧНІСТЬxШВИДКОДІЯ», новітніх підходів, які надає

Квантова теорія вимірювальних перетворень, і чіткого дотримання технології АКАД забезпечує простий у користуванні (оператора можливо навчити за кілька хвилин), і простою запуску КАМКАДЗЕ, який має автономне самонаведення, і стійкий до РЕБ та інших систем захисту, і працює на принципах реалізованих у відомій «Кольчuzі».

Основним вузлом є блок відслідкування та автонаведення, який може бути вмонтованим у БПЛА-АКАД, або ж, окремий приєднаний модуль, до існуючих моделей БПЛА, які серійно випускаються, шляхом перепідключення каналів «ВЕРХ-НИЗ» і «ЛІВО-ПРАВО», що дозволяє оптимізувати цінову політику, і вартість знешкодження БПЛА антидроном - КАМКАДЗЕ.

Тим більше, у приватних застосуваннях, вартість «брухту який впаде на приватну територію» в разі перевищуватиме витрати на АНТИДРОН, що робить проект економічно привабливим, а для військових систем він не має АЛЬТЕРНАТИВИ [1].

**Актуальність проблеми** особливо гостра в рамках АТО, а також забезпечення обороноздатності, а також може використовуватись для служб МНС, а також гідрометеослужб, засоби яких на основі теорії ФЧВ і ПР не можуть бути використані не санкціоновано, а і подавлені «класичними РЕБ».

**Мета.** Створення високоефективних мобільних засобів радіоелектронної боротьби із радіоканалами керування та зняття відеоінформації, або і ліквідації сучасних безпілотних розвідувальних систем, шляхом використання принципово нових можливостей які відкриваються в рамках теорії ФЧВ і ПР, і не мають аналогів у світі за своїми комплексним параметром точність x швидкодія вимірювання (формування) радіосигналів

Розроблено Квантову теорію вимірювального перетворення, яка забезпечує ОДНОЧАСНЕ покращення в 10-100 разів і точності і швидкості вимірювальних операцій, в режимах відстеження, самонаведення, а також радіопеленгації і селективного радіоблокування систем керування та радіообміну БПЛА-цілі.

Розроблено блок відслідкування та автонаведення, який може бути вмонтованим у БПЛА-АКАД, або ж, окремий приєднаний модуль, до існуючих моделей БПЛА, які серійно випускаються, шляхом перепідключення каналів «ВЕРХ-НИЗ» і «ЛІВО-ПРАВО».

Для завершення проекту потрібно встановити (виготовити) систему БПЛА –АНТИДРОН, та провести його польові (натурні) випробування

У відкритому доступі не міститься жодної інформації про АНТИ-ДРОНИ типу «камікадзе».

Існуючі системи ППО і РЕБ лише частково можуть вирішити проблему блокування БПЛА (лише в активному режимі), але це потребує значних витрат (сотні тисяч мільйонів дол), і в принципі неможливо боротися із «малогабаритними» БПЛА, особливо які йдуть за програмою пасивного керування.

Всі активні системи протидії використовують радіовипромінення (підсвічують себе перед нападником), в той же час АНТИ-ДРОН «камікадзе» використовує комбіновану систему самонаведення, і містить «місцеву РЕБ», чого не міститься в жодній системі протидії, (рис.1).



Рис1. Типові види БПЛА

Першим напрямком направленим на вирішення задачі блокування передачі зображення (саме в реальному часі) може служити використання систем РЕБ із використання властивостей із «прямокутним дискретним спектром», другим, є радикальний підхід направлений на знищення небезпечного БПЛА, але системи повинні бути побідним до ЗУРС, із тією різницею, що використовуються ефективні засоби автономного радіонаведення БПЛА - «камікадзе», які також базуються на властивостях Функції sinc(x).

Головними перевагами новітніх підходів є подолання проблем які існують у відомих системах.

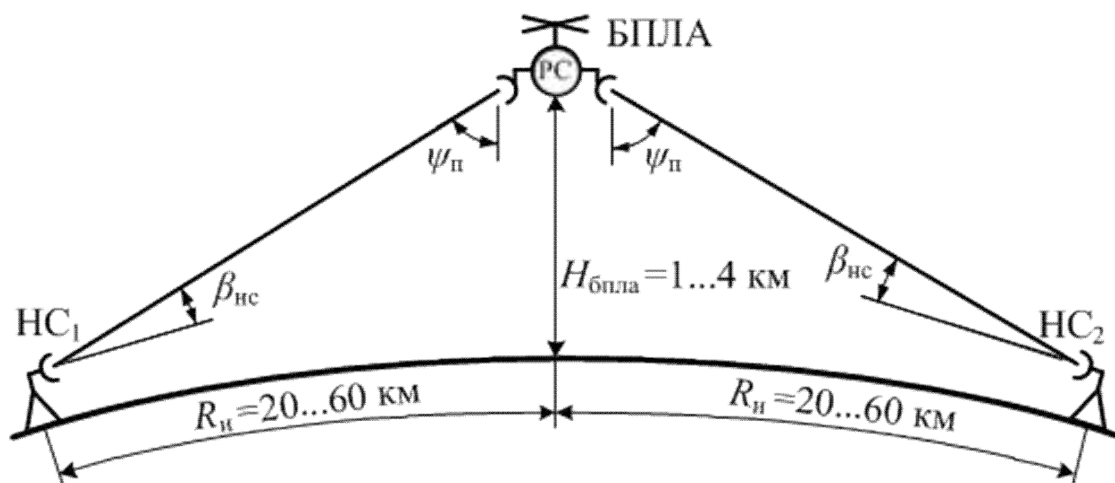


Рис. 2. Геометрична інтерпретація лінії з РС на БПЛА

Основними недоліками наявних систем є неефективні (з енергетичної точки зору), формування подавляючих сигналів, відповідно малий радіус дії, та досить висока вартість, що не завжди дозволяє їх використання для боротьби із БПЛА. (рис.2).

Питання протидії в польових умовах бойових дій (АТО), показало високу ефективність навіть примітивних засобів розвідки, і в той же час повну відсутність будь яких методів їх подавлення (окрім знищення вогнем із стрілкової зброї), що призводить до суттєвих наслідків у бойових операціях.

Тому очевидним є необхідним факт розробки мобільних, простих у експлуатації військових операцій, високоефективних систем РЕБ саме із сучасними видами радіозв'язку, який може бути розв'язано лише шляхом використання принципово нових можливостей при вимірюванні та формуванні радіосигналів, які забезпечуються лише в рамках ФЧВ і ПР, і відсутні у «класичній радіотехніці».

Реалізація комплексу можлива у вигляді автономних БПЛА «камікадзе», так і у вигляді модулів до існуючих моделей БПЛА (шляхом приєднання модуля АКАД та його прицільної адаптації), що в разі збільшує можливості використання (особливо в масових моделях).

Основним принциповим підходом є використання квантової теорії вимірювального перетворення, яка ПРИНЦИПОВО забезпечує ОДНОЧАСНЕ покращення в 10-100разів і точності і швидкості вимірювальних операцій, в режимах відстеження, самонаведення, а також радіопеленгації і селективного радіоблокування систем керування та радіообміну БПЛА-цілі.

Основним вузлом є блок відслідкування та автонаведення, який може бути вмонтованим у БПЛА-АКАД, або ж, окремий приєднаний модуль, до існуючих моделей БПЛА, які серійно випускаються, шляхом переключення каналів «верх-низ» і «ліво-право»

Простий у користуванні (оператора можливо навчити за кілька хвилин), і простотою запуску КАМІКАДЗЕ, який має автономне самонаведення, і стійкий до РЕБ та інших систем захисту.

У приватних застосуваннях, вартість «брухту який впаде на приватну територію» в разі перевищуватиме витрати на АНТИДРОН, що робить проект економічно привабливим, а для військових систем він не має АЛЬТЕРНАТИВИ.

Останні події із використання безпілотних апаратів для знищення військових баз на Харківщині, Запорізьській області та зоні АТО в Донецькій області, підтвердили проблему, яку США, Франція, Ізраїль, Арабські Емірати, заявили як однією із основних світових загроз безпеці, враховуючи безсилість існуючих систем ППО і ПРО стосовно БПЛА, та дронів, парк яких розвивається неконтрольовано, і їх використання для терористичних цілей стає все більш небезпечним.

Для України це також одна із найбільших загроз, особливо у стані гібридної війни.

Єдиним безальтернативним і ефективним напрямком вирішення вказаної проблеми може слугувати запропонований нами напрямок розроблений під назвою «Принципи та методологія активної протидії БПЛА за алгоритмом АКАД».

Основна ідея: враховуючи підтвержену на практиці про неможливість ефективної протидії стосовно БПЛА, які несли термітні та фосфорні елементи враження, систем ППО (включаючи радіолокаційні), зенітних систем, і стрілецької зброї, а також враховуючи, що дані дії мали дистанційне керування, ефективним буде саме запропонований підхід, використання принципу «камікадзе», із

---

використання одноразових БПЛА (аналогічного класу), із системами пасивного та активного самонаведення.

В принцип дії таких систем закладено новітні розробки, які не мають аналогів у світі, і дозволяють одночасно покращувати і точність і швидкодію вимірювання (у 10-100разів), тоді як для «класичних систем» добуток цих параметрів є величиною постійною.

Не вирішення вказаної проблеми, не обов'язково НАМИ (нехай буде впроваджено найбільш ефективну систему, якщо така є?), ставить під загрозу не лише військові, а і об'єкти підвищеної техногенної небезпеки (хімічні та нафто-комбінати, електростанції, важливі державні та господарські об'єкти).

Гіпотеза яка є цільовою для проекту, це унеможливлення саме оперативного зняття розвідувальної інформації безпілотними засобами в умовах динаміки бойових дій, коли від ефективності РЕБ залежить захист військ від вогневого враження.

В цілому розробка знайде широке застосування у забезпеченні військових Міністерства Оборони, а також Прикордонної служби України, в системах моніторингу МНС України, на об'єктах з підвищеним рівнем екологічної небезпеки (атомні станції, хімічні підприємства, тощо).

Очікувані наукові та науково-технічні результати та їх переваги над аналогами. будуть використані принципово нові технології теорії ФЧВ і ПР, які мають суттєві переваги над існуючими і дозволяють створювати засоби із новим властивостями. будуть розроблені макетні та експериментальні зразки для систем РЕБ в МГц і ГГц діапазонах для типових модулів радіоканалів із завадостійких (FFSS, ADT, GSM, CDMA,) тощо. буде розроблене необхідне програмне забезпечення для автоматичного виявлення та блокування безпілотних засобів. будуть розроблені методики комплексу заходів по розгортанню РЕБ та методичні рекомендації для користувачів (бійців АТО). буде розроблена ескізна документація для виготовлення макетних та експериментальних зразків.

Перспективи подальшого розвитку отриманих результатів дослідження. перспективним є створення нових систем радіозв'язку на засадах принципів теорії фчв і пр, які стійкі до реб нового покоління (детальна інформація є конфіденційною).

#### **Очікувані наукові та науково-технічні результати та їх переваги над аналогами.**

Будуть використані принципово нові технології Теорії ФЧВ і ПР, які мають суттєві переваги над існуючими і дозволяють створювати засоби із новим властивостями. Будуть розроблені макетні та експериментальні зразки для систем РЕБ в МГц і ГГц діапазонах для типових модулів радіоканалів із завадостійких (FFSS, ADT, GSM, CDMA,) тощо. Буде розроблене необхідне програмне забезпечення для автоматичного виявлення та блокування безпілотних засобів. Будуть розроблені методики комплексу заходів по розгортанню РЕБ та методичні рекомендації для користувачів (бійців АТО). Буде розроблена ескізна документація для виготовлення макетних та експериментальних зразків.

#### **Перспективи подальшого розвитку отриманих результатів дослідження.**

Перспективним є створення нових систем радіозв'язку на засадах принципів теорії ФЧВ і ПР, які стійкі до РЕБ нового покоління (детальна інформація є конфіденційною).

**Гіпотеза** яка є цільовою для проекту, це **унеможливлення саме оперативного зняття розвідувальної інформації безпілотними засобами в умовах динаміки бойових дій, коли від ефективності РЕБ залежить захист військ від вогневого враження.**

В цілому розробка знайде широке застосування у забезпеченні військових Міністерства оборони, а також Прикордонної служби України, в системах моніторингу МНС України, на об'єктах з підвищеним рівнем екологічної небезпеки (атомні станції, хімічні підприємства, тощо).

#### **Література**

1. Новітні технології вимірювальних перетворень радіосигналів для побудови засобів радіоелектронної боротьби з радіоканалами безпілотних розвідувальних систем / І. В. Троцишин, Н. І. Троцишина, М. І. Лисий // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – № 4 – С. 226-234

#### **References**

1. Novitni tekhnologii vymiruvalnyh peretvoren radiosygnaliv dlia pobudovy zasobiv radioelektronnoi borotby z radiokanalamy bezpilotnyh rozviduvalnyh system / I.V.Trotsyshyn, N.I. Trotsyshyna, M.I.Lysyy // Vymiruvalna ta obhysluvalna tekhnika v tekhnologithnykh prozesakh. — 2015. — № 4 — S. 226-234 /



В.Д. ДМИТРИЕНКО, С.Ю. ЛЕОНОВ, А.Ю. ЗАКОВОРOTНЬИЙ, Д.М. ГЛАВЧЕВ

Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт"  
serleomail@gmail.com**ПРОБЛЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ К ЭКВИВАЛЕНТНЫМ ЛИНЕЙНЫМ В  
ФОРМЕ БРУНОВСКОГО**

Рассматривается задача линеаризации математических моделей, описывающих технологические процессы, с целью получения удобного инструмента для управления ими. Задача линеаризации решается с помощью геометрической теории управления (ГТУ). Привлекательность ГТУ связана с получением эквивалентных нелинейным моделям линейных моделей, которые удобно использовать для решения задач управления, получая структуры регуляторов или законы управления. После чего осуществляется обратный переход из пространства линейных систем в пространство исходной нелинейной системы. При этом основные аналитические преобразования автоматизированы с помощью специализированного программного обеспечения. Поиск функций преобразования, связывающих переменные линейной и нелинейной моделей, осуществляется с помощью нового конструктивного метода решения системы дифференциальных уравнений в частных производных.

**Ключевые слова:** линеаризация математической модели; технологические процессы; геометрическая теория управления; программное обеспечение; функции преобразования.

V.D. DMITRIENKO, S.YU. LEONOV, A.YU. ZAKOVOROTNY, D.M. GLAVCHEV

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
serleomail@gmail.com**PROBLEMS OF TRANSFORMATION NON-LINEAR CONTROL SYSTEMS OF TECHNOLOGICAL  
PROCESSES TO EQUIVALENT LINEAR IN THE FORM OF BRUNOVSKY**

The problem of linearization of mathematical models describing technological processes with the purpose of obtaining a convenient tool for managing them is considered. The problem of linearization is solved by means of a geometric control theory (GCT). The attractiveness of GCT is connected, first of all, with obtaining equivalent nonlinear linear models, which are convenient for solving management problems and receiving regulatory structures or control laws. After that performed the reverse transition from the space of linear systems to the space of the original nonlinear system. A wider application of the geometric control theory is hindered by cumbersome analytical transformations connected with the calculation of the derivatives and the Lie brackets, the definition of the involutivity of distributions, and so on, and also the problem of determining the transformation functions connecting the variables of linear models in the form of Brunovsky and initial non-linear models of control objects. The authors developed specialized software that automates the main analytical transformations of GCT. The search for the transformation functions connecting the variables of the linear and nonlinear models is carried out using a new constructive method for solving the system of partial differential equations.

**Keywords:** linearization of the mathematical model; technological processes; geometric control theory; software; conversion functions.

Большое число различных технологических процессов рационально описывать и исследовать с помощью систем нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, решения которых часто удобно представлять в виде кривых и поверхностей в трехмерном пространстве. Поскольку одно из основных назначений дифференциальной геометрии состоит в изучении свойств таких геометрических объектов, то неудивительно, что на стыке теории управления технологическими объектами и дифференциальной геометрии возникла геометрическая теория управления [1, 2], которая находит определенное применение при поиске оптимальных управлений различными объектами. Привлекательность геометрической теории управления (ГТУ) связана, в первую очередь, с получением эквивалентных нелинейным моделям линейных моделей, которые удобно использовать для решения задач оптимального управления, получая структуры регуляторов или законы управления. После чего осуществляется обратный переход из пространства линейных систем в пространство исходной нелинейной системы. Более широкому применению геометрической теории управления препятствуют громоздкие аналитические преобразования, связанные с вычислением производных и скобок Ли, определением инволютивности распределений и т.д. [1, 2], а также проблема определения функций преобразования, связывающих переменные линейных моделей в форме Бруновского и исходных нелинейных моделей объектов управления. Большую часть аналитических преобразований удалось автоматизировать с помощью специализированного программного обеспечения [3, 4]. Однако проблема определения функций преобразования в общем случае требует своего решения, что связано с необходимостью решения системы дифференциальных уравнений в частных производных вида:

$$\begin{aligned}
& a_{11} \frac{\partial T_g(x)}{\partial x_1} + a_{12} \frac{\partial T_g(x)}{\partial x_2} + \dots + a_{1n} \frac{\partial T_g(x)}{\partial x_n} = 0; \\
& \dots \dots \dots \\
& a_{r1} \frac{\partial T_g(x)}{\partial x_1} + a_{r2} \frac{\partial T_g(x)}{\partial x_2} + \dots + a_{rn} \frac{\partial T_g(x)}{\partial x_n} = 0; \\
& \dots \dots \dots \\
& a_{k1} \frac{\partial T_g(x)}{\partial x_1} + a_{k2} \frac{\partial T_g(x)}{\partial x_2} + \dots + a_{kn} \frac{\partial T_g(x)}{\partial x_n} = 0,
\end{aligned} \tag{1}$$

где  $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{kn}$  – постоянные коэффициенты, задаваемые векторным полем объекта управления;  $T_g(x)$  – неизвестная функция преобразования для  $g$ -ой клетки Бруновского;  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  – вектор фазовых переменных исходного объекта;  $a_{r1}, a_{r2}, \dots, a_{kn}$  – коэффициенты, определяемые производными Ли от функции  $T_g(x)$  векторного аргумента  $x$ .

Зная  $T_g(x)$  путем последовательного взятия производных Ли вдоль векторного поля фазовых переменных несложно получить выражения, связывающие переменные линейной и нелинейной моделей для  $g$ -ой клетки канонической формы Бруновского.

Число уравнений в системе (1) зависит как от числа управлений, так и от индекса управляемости соответствующей клетки Бруновского [3, 4]. При числе управлений  $l = 3$  и индексе управляемости, равном 4, число уравнений равно 12. Решение системы уравнений (1) в общем случае не является тривиальной задачей. В связи с этим был предложен поиск функций преобразований  $T_g(x)$ , где  $g = 1, 2, \dots, k_g$ ,  $k_g$  – число клеток Бруновского, с помощью нейронной сети, а также метод, связанный с уменьшением числа аргументов, от которых может зависеть функция  $T_g(x)$ .

### Литература

1. 1. Краснощёченко В.Н. Нелинейные системы: геометрический метод анализа и синтеза / В.И. Краснощёченко, А.П. Крищенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2005. – 520 с.
2. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2 Многомерные нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: учебное пособие / Д.П. Ким. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 464 с.
3. Дмитриенко В.Д. Моделирование и оптимизация процессов управления движением дизель-поездов / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный. – Харьков: НТМТ, 2013. – 248 с.
4. Дмитриенко В.Д. Преобразование нелинейных систем управления к эквивалентным линейным в канонической форме Бруновского / В.Д. Дмитриенко, А.Ю. Заковоротный // Электротехнические системы и комплексы. – Магнитогорск: МГТУ, 2014. – № 4 (25). – С. 8 – 14.

### References

1. Krasnoshechenko, V.N., and Krishenko, A.P. (2005), "Nonlinear systems: geometrical method of analysis and synthesis", Bauman Moscow State Technical University (BMSTU), Moscow, 520 p.
2. Kim, D.P. (2004), "Theory of automatic control. T. 2. Multidimensional nonlinear, optimal and adaptive systems", FYSMATLIT, Moscow, 464 p.
3. Dmitrienko, V.D., and Zakovorotny, A.Y. (2013), "Modelling and optimization of management processes of diesel trains", НТМТ, Kharkiv, 248 p.
4. Dmitrienko, V.D., and Zakovorotny, A.Y. (2014), "Converting the nonlinear control systems equivalent to the linear canonical Brunovsky form", Electrical systems and complexes, Magnitogorsk: MSTU, Vol. 4 (25), pp. 8-14.

**НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЯЗЫКОВ ВЫСОКОГО УРОВНЯ**

*В тезисах рассматривается предложение аппаратной реализации языков высокого уровня в перспективных компьютерах, позволяющее «погрузить» часть задач вычислительной математики в аппаратуру. Это с одной стороны, позволит приблизить сам язык общения с таким компьютером к естественному языку, т.е. упростить алгоритмы решения задач и, с другой стороны, сократить время их реализации.*

*Ключевые слова: вычислительная техника, интерполяционный многочлен, алгебра полиномов, аппаратная поддержка, реализация языков высокого уровня.*

V.A. VYSHINSKIY, A.Y. KONONENKO, A.V. SLIPETS

V.M.Glushkov Institute of cybernetics of National academy of Science of Ukraine  
vyshinskiy@ukr.net, kononenko17@i.ua, alla\_volod@ukr.net**SOME ASPECTS OF IMPLEMENTATION OF HIGH-LEVEL LANGUAGES**

*Annotation: The thesis deals with the proposal of hardware implementation of high-level languages in perspective computers, which allows to "submerge" part of the tasks of computational mathematics into hardware. This, on the one hand, will make it possible to bring the language of communication with such a computer closer to the natural language, i.e. simplify the algorithms for solving problems and, on the other hand, reduce the time of their implementation. The "immersion" of tasks is carried out due to the fact that some of them participate in solving "almost" all classes of problems in computational mathematics. First of all, they include: interpolation, approximation and approximation of functions to a form convenient for presentation and processing in Computer Engineering, numerical integration and differentiation, solution of a system of linear algebraic equations, matrix processing. Modern means of solving these problems are reduced to purely sequential algorithms, with their subsequent parallelization. In the present paper, it is proposed to solve these problems simultaneously throughout the interval of the function assignment, using, at the same time, the mathematical apparatus of regular representations of the Cauchy algebra whose elements they are. As such a representation, it is proposed to use the algebra of polynomials. In addition, the differentiation of functions in such a representation is proposed in computational mathematics, not separately by points, but over the entire range of their task, that is, over its functional representation, simultaneously at all points of the interval. Proceeding from the fact that modern hardware support for the operations of such algebra can rely on a microelectronic base, it will be very cheap at a cost. In other words, it is convenient to load these classes of tasks into cheap microelectronic equipment, having computed them at the design stage of an electronic computer in the best way once and for all.*

*Keywords: Computer Engineering, interpolation polynomial, algebra of polynomials, hardware support, implementation of high-level languages.*

Появлению электронной вычислительной техники (ЭВТ) способствовала всевозрастающая потребность нашей цивилизации в росте объемов вычислений. Прежде всего, увеличение количества вычислений было востребовано в военной технике, в частности, для ведения прицельного огня обычной и зенитной артиллерии. Для этого потребовалось решать системы линейных алгебраических уравнений, что в условиях реального масштаба времени стали резко возрастать требования к скорости счета, которые можно было обеспечить только приборами вычислительной техники, построенными на электронной элементной базе. Действительно первые электронно-вычислительные машины (ЭВМ), как в нашей стране, так и за рубежом, нагружались, именно, этой задачей расчета траектории полета снаряда. Более того, в Киеве была создана первая специализированная электронная счетная машина, ориентированная на решение, именно, только этой задачи в артиллерии. В процессе развития ЭВТ стал расширяться и круг вычислительных задач вычислительной математики. Приведем его перечень:

1. Интерполирование, аппроксимация и приближение функций к виду, удобному для представления и обработки в средствах ЭВТ,
2. Численное интегрирование и дифференцирование,
3. Решение системы линейных алгебраических уравнений, обработка матриц,
4. Решение «векового уравнения» (характеристического уравнения матрицы), его собственные значения (числа) – корни этого уравнения,
5. Решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений,
6. Решение системы дифференциальных уравнений в частных производных,
7. Анализ функций.

Эти семь классов задач практически покрывают вычислительную часть современной обработки информации. Конечно, для совершенствования их решения требуются более быстродействующие, более надежные с достаточной достоверностью вычислений средства. Однако техническое развитие этих средств, в свое время было ограничено, только применением более быстродействующей, более надежной микроэлектронной базы. Что касается новых структур, новой информационной технологии, закладываемой

в аппаратурные решения, во вновь создаваемых компьютерах, то здесь развитие ВТ осталось на уровне пятидесятих годов. Таким образом, алгоритм решения вычислительной задачи, по-прежнему, ориентируется, только, на программное обеспечение, использующее четыре арифметических действия, которые реализованы в виде машинных команд. Иными словами, более крупные и операнды, и операции, реализующие в компьютере язык высокого уровня, осуществляется в программном виде, т.е. в конечном счете, сводятся к тем же машинным командам – арифметическим действиям. Этот устоявшийся за последние сорок лет подход, рано или поздно, приведет к остановке роста и производительности, и надежности компьютерной техники. По мнению некоторых «маститых» ученых смысл развития ВТ должен быть направлен не на ее усовершенствование, а на разработку таких специализированных средств, которые бы способствовали более широкому применению уже достигнутых информационных технологий и аппаратурных структур их реализации, т.е. в этом месте компьютерное развитие должно быть остановлено. Что и наблюдается в современной компьютерной технике.

Однако в развитии ВТ, еще в восьмидесятых годах прошлого столетия, появились работы, в которых предлагается совершить дальнейший прорыв в информационной технологии компьютера. С помощью этой технологии принципиально по-новому, разрешается одна из важнейших проблем современной компьютерной техники, касающаяся распараллеливания вычислительного процесса. Например, современная численная обработка функций традиционно выполняется отдельно в каждой точке интервала ее задания. Распараллеливание этого вычислительного процесса на многопроцессорной системе, казалось бы, не представляет собой особых трудностей. Однако распараллеливающая программа при этом является уникальной в том смысле, что она четко привязана к особенностям конкретной многопроцессорной аппаратуре. Предлагаемая новая информационная технология, ориентированна уже не на машинную арифметику, а на новые крупные команды, в качестве которых выступают, например, операции алгебры полиномов, позволяет численную обработку функций выполнять уже на всем интервале их задания посредством манипуляции с интерполяционными многочленами. Иными словами, детализация вычислительного процесса по точкам интервала в этом случае отсутствует, которая весьма часто может пользователя и не интересовать. Еще раз подчеркнем, что в рассматриваемом случае на средствах дискретной техники производятся вычисления над функциями, относительно точек интервала их задания, эквивалентные аналитическим преобразованиям. Эта эквивалентность достигается за счет того, что исходные функции в машине представляются и обрабатываются над их интерполяционными многочленами, значение которых совпадает со значением функций в рассматриваемых точках интервала. Такие аналитические преобразования над функциями-многочленами в дискретной машине соответствуют аналитическими преобразованиями над функциями в точках интервала их задания.

В рассматриваемой машинной информационной технологии актуальной становится задача нахождения интерполяционного многочлена конкретной функции. Традиционный подход определения такого многочлена требует вычисления значений этой функции в узлах интервала с последующим применением к полученному вектору значений алгоритма интерполирования. Понятно, что эти значения функции требуются только для получения интерполяционного многочлена. Современные микроэлектронные аппаратурные возможности позволяют обойтись без них. Дело в том, что обычно формульное задание функции, как правило, представляется суперпозицией известных математических функций, соединенных между собой операциями известной алгебры Коши, т.е. с помощью операций сложения, вычитания, умножения и деления функций. Количество всевозможных математических функций, как правило, составляет не более сотни. В практических расчетах оно обычно ограничивается элементарными математическими функциями, которых – не более двух десятков. Это обстоятельство позволяет в постоянной памяти машины хранить интерполяционные многочлены, рассматриваемых стандартных математических функций, в узлах интервалов, интересующих пользователя. Тогда для нахождения интерполяционного многочлена рассматриваемой функции необходимо в ее формулу подставить вместо математических функций соответствующие им интерполяционные многочлены и выполнить операции алгебры полиномов над ними, заданные в этой формуле. Таким образом, полученный многочлен будет соответствовать интерполяционному многочлену рассматриваемой функции. Этот вычислительный процесс, естественно, весьма удобно может быть реализован на машине, командами которой выступают операции над полиномами.

Аналогичная ситуация с обработкой интерполяционных многочленов и при решении класса задач численного дифференцирования и интегрирования, с которыми пользователь сталкивается в дифференциальных и интегральных уравнениях. И здесь тоже все связано с их представлением в современных компьютерах в дискретном виде, т.е. с помощью таблицы (массива) значений в узлах некоторой расчетной сетки. Использование в качестве машинных команд, отражающих операции алгебры полиномов, приводит не к поточечным вычислениям в этой сетке, а к обработке интерполяционных многочленов, значение которых совпадает со значениями исходных функций в узлах их задания, т.е. над крупными операндами, отражающими функции во всех узлах, значение в которых интересует пользователя.

Эти два класса задач вычислительной математики, кроме того, что сами по себе представляют интерес для пользователя, они также присутствуют в других более сложных задачах. Приведем следующий пример. Практика расчета сложных машин в механике показала, что для создания современных механических конструкций требуется решения системы линейных алгебраических уравнений, исчисляемых

сотнями тысяч. Кроме того, каждый коэффициент в уравнении этой системы представляет собой функцию. Иными словами, такая система линейных уравнений представляется функциональной матрицей. Классический прием решения этой системы в действительной области требует сведения ее функциональной матрицы к числовой матрице в фиксированной точке интервала задания ее функций. Таким образом, для решения рассматриваемой системы уравнений необходимо решать для каждой точки интервала задания функций системы линейных алгебраических уравнений, представленной действительной матрицей. Для этого, предварительно, функциональную матрицу следует представить в виде совокупности действительных матриц, а полученное множество (матрицу) действительных векторов решения этой системы преобразовать в вектор функций – решение системы. Понятно, что этот путь решения системы линейных алгебраических уравнений является длинным и требует непомерных затрат большой компьютерной системы.

Если воспользоваться компьютером, в котором в качестве команд выступают операции алгебры полиномов, поддержанные аппаратурой, то решение рассмотренной выше системы уравнений сводится к представлению функциональной матрицы, описывающей ее, матрицей интерполяционных многочленов, каждый из которых представляет соответствующую функцию функциональной матрицы. Понятно, что при определенных размерах машинной матрицы компьютера вся эта процедура существенно будет проще, нежели представление функциональной матрицы множеством действительных матриц традиционным способом решения рассматриваемой системы уравнений. Что касается самого решения этой системы в предлагаемом компьютере, то потребуется одноразовое ее решение в операциях алгебры полиномов, которые, как об этом уже упоминалось, являются командами машины, выполненными аппаратурным способом. Полученный вектор интерполяционных многочленов соответствует вектору функций, который и является решением рассматриваемой системы линейных алгебраических уравнений, описываемой функциональной матрицей. Практически этот функциональный вектор и представляет интерес для пользователя, а разложение его по точкам интервала задания функций является уже не обязательным, т.е., по существу оно в алгоритме опускается, тем самым, сокращая решение системы.

Аналогичная ситуация складывается и использованием численного интегрирования и дифференцирования для, приведенных ранее классов задач, касающихся решения систем дифференциальных уравнений, как обыкновенных так и в частных производных. Иными словами, численное дифференцирование выполняется не поточно на интервале задания функции, а сразу во всех точках, что позволяет тот же алгоритм дифференцирования, но уже над функцией, представленной интерполяционным многочленом

$$P'(x) = \frac{P(x + \Delta x) - P(x)}{\Delta x},$$

где  $P(x + \Delta x)$  и  $P(x)$  – интерполяционные многочлены соответственно функций  $\phi(x + \Delta x)$  и  $\phi(x)$ .

Для реализации операции численного интегрирования функций в предлагаемой ЭВМ используется, как и в случае численного дифференцирования, представление исходной функции в виде интерполяционного многочлена. Заменяя исходную функцию  $f(x)$  ее интерполяционным многочленом  $P(x)$ , применим к последнему для уменьшения погрешности метод, который соответствует применению двух вариантов метода прямоугольников (левого и правого).

Если функция, интеграл которой рассматривается, задана коэффициентами ее интерполяционного многочлена, то значения этого многочлена в узлах сетки и нахождение соответствующего интеграла можно найти следующим образом.

$$I_2 \equiv \sum_{0=1}^m \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i^j \times a_j \right).$$

Поскольку вектор

$$\sum_{i=1}^n x_i^j$$

представляет собой константу, то он может быть подготовлен заранее и находится в постоянной памяти машины. В результате, алгоритм вычисления этого выражения сводится к одному скалярному умножению двух векторов.

В настоящем докладе рассматриваются задачи вычислительной математики, предназначенные для решения на ВМ, в которой машинными командами являются операции над полиномами. Подчеркнем, что обеспечение этих операций как команд поддержано аппаратурными средствами. Иными словами в машине выполнена аппаратурная реализация языка высокого уровня, что позволяет существенно упростить структуры самих алгоритмов решения задач и операции (команды), которые входят в них. Использование таких команд есть не что, иное, как погружение решение задач вычислительной математики в машину, которое приводит к тому, что часть из них может быть опущена из алгоритмического обеспечения. Во всяком случае, такой класс задач, как интерполирование, аппроксимация и приближение функций, может, раз и навсегда решен, и его результаты представлены в памяти машины в виде констант. В равной степени использование заранее вычисленных интерполяционных многочленов функций следует использовать и для численного интегрирования и дифференцирования.

## ХІМІЧНА МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ ПОЛІСТИРОЛУ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ІМУНОФЕРМЕНТНОМУ АНАЛІЗІ

Сучасні медичні дослідження дозволяють проводити ранню діагностику багатьох хвороб, на основі аналізів біологічних рідин. На основі наукових та медичних знань створено ряд нових методів діагностики захворювань людини. Водночас зростає потреба у нових сенсорах, які можуть відображати стан здоров'я пацієнта в цілому. У доповіді повідомляється про простий, недорогий та екологічно безпечний спосіб гідрофілізації поверхні полістиролу, який має значний потенціал для застосування в методах ферментно-імуносорбентного аналізу (ІФА) за рахунок збільшення адсорбції досліджуваних молекул.

Представлені результати дослідження поверхонь гідрофілізованого полістиролу з використанням ФТІР-спектроскопії, скануючої зондової мікроскопії, вимірювання контактного кута та адсорбційних властивостей для окремих класів біомолекул. Обговорюються можливі механізми гідрофілізації на основі характеристичних реакцій фенільного ядра та утворення полярних функціональних груп на поверхні полістиролу.

Ключові слова: технологія гідрофілізації, полістирол, FTIR-спектроскопія, скануюча зондова мікроскопія, вимірювання контактного кута

G.V. BEKETOV, V.P. KYSLYI, A.I. LIPTUGA, O.V. SHYNKARENKO

Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine  
o.shynkarenko@isp.kiev.ua

## CHEMICAL TREATMENT OF POLYSTYRENE SURFACES FOR ELISA APPLICATIONS

Modern healthcare allows early diagnosis of many diseases by analyzing biological fluids. The development of science and medicine knowledges lead to a number of new methods of diseases identification in the presence of certain human diseases. At the same time, a growing need for new sensors that can reflect the state of health of the patient as a whole. We are reporting on simple, inexpensive, and environment-friendly method for hydrophilization of polystyrene surface which has strong potentiality for use in manufacturing of enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) plates as an adsorption-promoting technique.

ELISA is a biochemical assay widely used in immunological diagnostics for detection of peptides, proteins, antibodies, hormones etc. It is an essentially heterogeneous assay, in which separation of some component of the liquid analytical probe is performed by adsorbing them specifically onto a physically immobilized solid phase. The solid support is usually constructed as a multiple-well polystyrene plate known as the "ELISA plate". The critical issue in manufacturing the ELISA plates is achievement of an optimal adsorption capacity and affinity for the specified biomolecules used as a ligand. The world-leading brands (TermoFisher Nunc, Corning etc.) widely use proprietary hydrophilization technologies for this purpose.

Availability of an independently developed hydrophilization technology will promote competitiveness of emerging local manufacturers of ELISA-related products and facilitate access to advanced medical care for all sections of the population.

Results of investigation of the hydrophilized polystyrene surfaces using FTIR-spectroscopy, scanning probe microscopy, contact angle measurements, and adsorption properties for selected classes of biomolecules are presented. Possible mechanisms of hydrophilization are discussed on the ground of characteristic reactions of the phenil core and formation of polar functional groups at the polystyrene surface.

**Keywords:** Hydrophilization technology, polystyrene, FTIR-spectroscopy, scanning probe microscopy, contact angle measurements

Імуноферментний аналіз (ІФА, англ. *enzyme-linked immuno sorbent assay, ELISA*) — імунологічний метод для визначення наявності певних антигенів, шляхом реакції антиген-антитіло. Широко використовується в науково-дослідній роботі та клінічній лабораторній діагностиці для виявлення пептидів, білків, антитіл, гормонів тощо. Це по суті гетерогенний аналіз, при якому виділення певного компонента рідкої проби відбувається при його специфічній адсорбції на фізично іммобілізовану тверду фазу. В ролі останньої, як правило використовують полістиролові мікротитрувальні плашки для рідких проб, відомі як "пластинки ELISA". Критичною проблемою при виготовленні пластин для ІФА є досягнення оптимальної адсорбційної здатності та спорідненості з вказаними біомолекулами, які використовуються як ліганд. Відштампована поверхня полістиролу має гідрофільні властивості, що значно зменшує максимальну кількість адсорбованої речовини на поверхні і збільшує мінімальний рівень концентрації речовини, що може бути визначена. Світові бренди (TermoFisher Nunc, Corning та ін.) широко використовують фірмові гідрофілізаційні технології для цієї мети [1].

Різні типи хімічних зв'язків, що беруть участь при адсорбції біомолекул на поверхні полістиролу зображені на рис. 1.

В залежності від переважної більшості гідрофільних чи гідрофобних амінокислотних залишків на поверхні молекул, що адсорбуються, оптимальним буде використання поверхні полістиролу з відповідним ступенем гідрофільності. Нами розроблена методика, що дозволяє плавно змінювати гідрофільність

поверхні полістиролу і отримувати поверхні з відомим ступенем гідрофільності. Приклад полістиролових чаш з різним ступенем гідрофільності наведено на рис.2. Спосіб гідрофілізації оснований на рідинних реакціях, є екологічно безпечним, недорогим та нетрудоемким. Наявність самостійно розробленої технології гідрофілізації сприятиме підвищенню конкурентоспроможності українських виробників тест-систем для ІФА та покращить якість медичної допомоги для всіх верств населення [3].

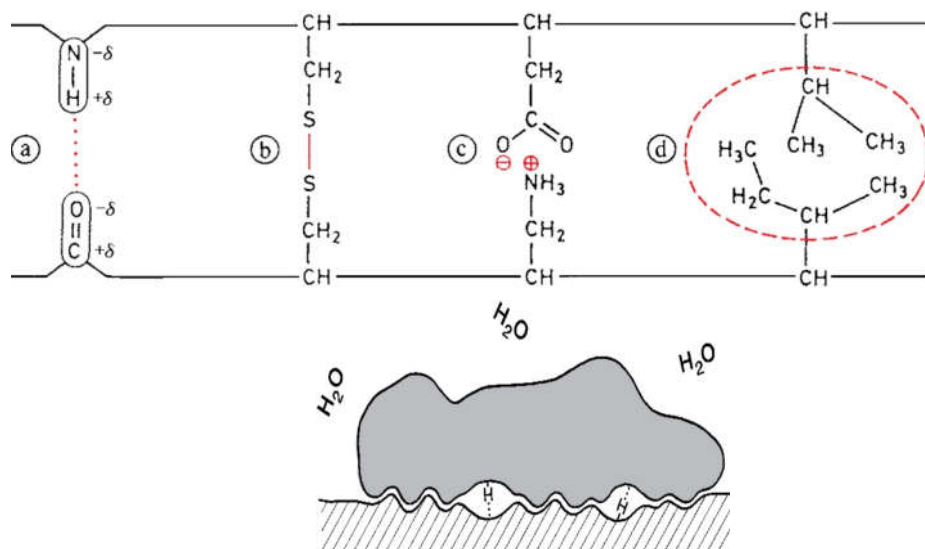


Рис. 1. Типи хімічних зв'язків що беруть участь при адсорбції до поверхні полістиролу. Ван-дер-Ваальсовські зв'язки: (а) - водневий зв'язок між двома диполями; (d) - зв'язок полярностей що чергуються між вуглеводневими залишками; "Істинні" хімічні зв'язки: (b) - ковалентний дисульфідний зв'язок; (c) - іонний зв'язок між іоном карбоксилу та аміно-іоном, (e) - комбінована дія водневих сил та зв'язків змінних полярностей між вуглеводневими залишками. [2]

В доповіді представлені результати дослідження поверхонь гідрофілізованого полістиролу з використанням ФТІР-спектроскопії, скануючої зондової мікроскопії, вимірювання контактного кута та адсорбційних властивостей для окремих класів біомолекул. Обговорюються можливі механізми гідрофілізації на основі характеристичних реакцій фенольного ядра та утворення полярних функціональних груп на поверхні полістиролу.



Рис.2. Полістиролові чаші з різним ступенем гідрофільності заповнені водою

### References

1. Nunc surfaces – for passive adsorption. / Nunc No. 69909 – Ver. 1.1 –YNI/CT 01-2005.- www.nuncbrand.com.
2. Principles in Adsorption to Polystyrene / Peter Esser. // Application note. – 2014. -Thermo Fisher Scientific Inc. - <https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/Application-Notes/D19559.pdf>.
3. Local Production for Access to Medical Products: Developing a Framework to Improve Public Health. World Health Organization, ISBN 978 92 4 150289 4 – [www.who.int/phi/publications/Local\\_Production\\_Policy\\_Framework.pdf](http://www.who.int/phi/publications/Local_Production_Policy_Framework.pdf).

**ПОВЕРКА И КАЛИБРОВКА В ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ**

*Аннотация:* Статья посвящена разнице понятий в зависимости от необходимости получить метрологический документ о том, что данный прибор для измерения или воспроизведения угла фазового сдвига проверен не где-то, неизвестно где, а в узаконенных предприятиях - центрах метрологии, где всё основано на сравнении с эталонами единиц, которых много (метр, секунда, плоский угол, где есть выход на спецусловия, которые необходимы науке и технике). На больших заводах, научно-исследовательских институтах имеются метрологические отделы, в которых также имеются эталоны и эталонные установки, которые аттестованы в соответствующих центрах и им дано право поверки. В центрах метрологии Российской Федерации осуществляют поверку отечественных калибраторов фазы типа КФ-1, Ф5224, Ф1-2, УФАМП-1, Ф1-4, Н6-2, Н4-14 только на частотах, указанных в паспорте Госэталона (ГЭТ61-88, а именно - в диапазоне частот, точно соответствующим частотам Государственного эталона единицы угла фазового сдвига между двумя электрическими напряжениями в диапазоне частот от  $1 \cdot 10^{-2}$  до  $2 \cdot 10^7$  Гц (ГЭТ61-88), а именно на шести частотах - 0,01 Гц, 1000 Гц, 100 кГц, 1 МГц, 10 МГц и 20 МГц.

Сами калибраторы фазы имеют собственные следующие диапазоны частот:

- калибратор фазы КФ-1 (30 Гц, 50 Гц, 1000 Гц, завод «Эталон» при ВНИИМ г. Ленинград),
- низкочастотный калибратор фазы Ф5224 (0,001 Гц - 200,000 кГц, завод «РИП», г. Киев),
- калибратор фазы Ф1-2 (5кГц, 10 кГц, 50 кГц, 100 кГц, 200 кГц, завод «Матас» г. Вильнюс),
- калибратор фазы Ф1-4 (5 кГц - 10 МГц), завод «КЗРИП» г. Краснодар),
- калибратор фазы Н6-2 (1,0 Гц-100 МГц, завод «КЗРИП» г. Краснодар),
- Эталон ГЭТ 61-88 (0,001 Гц - 20 МГц) завод «Эталон» при ВНИИМ г. Ленинград).

Фазометры также должны проходить поверки через временные периоды, обычно чаще всего через год. Наиболее известные отечественные фазометры - Ф2-34 и ФК2-35 с разрешающей способностью по фазе  $0,01^\circ$  и  $0,001^\circ$  в диапазоне углов 0-360° и в зоне частот от 1 Гц до 1 МГц.

Калибровка в основном применяется тогда, когда разрабатывают новые образцы приборов и надо определить СКО именно в тех точках, которых нет данных этих точек в перекрываемом частотном диапазоне. Для этого случая даны исследователям выражения для получения результатов работы с целью безошибочного определения неопределённостей типа А, типа В и суммарную неопределённость, расширенную до уровня 0,95.

S.A. KRAVCHENKO, V.P. PIASTRO, A.N. PRONIN  
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева», Санкт-Петербург

**VERIFICATION AND CALIBRATION IN PHASE MEASUREMENTS**

**Abstract.** The article covers the difference between concepts and actions depending on the need to obtain a metrological document that the given instrument for phase shift measurement or reproducing is tested at authorized enterprises such as centers for metrology, where the testing is based on comparison with measuring standards of various units (like meter, second, or flat angle), allowing to meet special requirements of science and technology. Large manufactures and research institutes have metrological departments that operate measuring standards and reference standards that are certified by relevant metrological centers. In metrology centers of the Russian Federation, calibration of domestic phase calibrator type KF-1, F5224, F1-2, UFAMP-1, F1-4, N6-2, and N4-14 is carried out only at the frequency range specified in the passport for State Measurement Standard GET 61-88. This frequency range strictly corresponds to the frequencies of the State Measurement Standard of unit of phase shift between two voltages in the frequency range from  $1 \cdot 10^{-2}$  Hz to  $2 \cdot 10^7$  Hz (GET 61-88), more specifically at 6 frequencies: 0.01 Hz, 1000 Hz, 100 kHz, 1 MHz, and 20 MHz.

The phase calibrators have the following frequency ranges:

- phase calibrator KF-1 (Etalon, VNIIM based enterprise, Leningrad): 30 Hz, 50 Hz, 1000 Hz;
- low-frequency phase calibrator F5224 (RIP, Kiev): 0.001 Hz - 200.000 kHz;
- phase calibrator F1-2 (Matas, Vilnius): 5 kHz, 10 kHz, 50 kHz, 100 kHz, 200 kHz;
- phasometric calibration device UFAMP-1 (Matas, Vilnius): 0.001 Hz - 1.08 MHz;
- phase calibrator F1-4 (KZRIP, Krasnodar): 5 Hz - 10 MHz;
- phase calibrator N6-2 (KZRIP, Krasnodar): 1.0 Hz - 100 MHz;
- instruments reproducing phase shift N4-14 (KZRIP, Krasnodar): 1.0 Hz - 10 MHz;
- measuring standard GET 61-88 (Etalon, VNIIM based enterprise, Leningrad): 0.001 Hz - 20 MHz

Phase meters are subjects to periodical verification, usually once a year. The most well-known domestic phase meters are F2-34 and F2-35 with phase resolution of  $0.01^\circ$  and  $0.001^\circ$ , in the angle range of  $0^\circ - 360^\circ$ , and in the frequency range from 1 Hz to 1 MHz.

Calibration is mainly used when developing new types of measuring instruments and it is necessary to determine mean square deviation precisely in specific points for which there is no data to verify those points from the entire frequency range. For this case, the researchers are given equations for accurate determination of type A and type B uncertainties, as well as combined uncertainty extended to the level of 0.95.

Измерение угла фазового сдвига между двумя электрическими напряжениями в диапазоне от 0 до  $360^\circ$  является с одной стороны подотделом электрических измерений и входит в семейство электрических



измерений, а с другой стороны является подотделом измерения плоского угла в особых, точнее в так называемых специальных условиях, которое относится к чисто угловым измерениям.

Например: угол сдвига между током и напряжением (промышленная электроэнергетика), между плоскостями поляризации (оптика), между орбитами электронов и протонов (техника ядерных исследований), между двумя электрическими напряжениями (выходные сигналы-напряжения устройств, связанных с движением физических объектов – ракет, самолётов, подводных и надводных судов), сигналов от устройств с перекачиванием потоков по трубопроводам - нефти, газов, от устройств связи – телефонии, телевидения, в системах службы государственного времени и др.

Известно 16 специальных условий для измерения плоского угла фазового сдвига в разных областях науки и техники. И для каждого из спецусловий разрабатываются свои непохожие методики определения метрологических характеристик [1].

Угол фазового сдвига (УФС) в области электрических, а также и радиотехнических измерений измеряется в отличие от электроэнергетики электронными сложными системами, потребляющими микро мощности, называемых по-разному: фазометрами, электронными фазометрами, измерителями разности фаз, фазоизмерительными системами и др.

Воспроизведение УФС создаётся точной фазометрической аппаратурой ТФА (двухфазными генераторами с диапазоном УФС от 0 до  $360^{\circ}$ , работающим в широком диапазоне частот от сотых и тысячных долей герца до единиц и десятков мегагерц, например АФ-4) [2]. При поверке важно, чтобы погрешность ТФА была равна или около  $1/3$  от погрешности измерителя разности фаз (ИРФ). Калибровка же требует не просто знания погрешности самого ТФА, а точного учёта погрешности именно при передаче размера единицы УФС от ТФА к калибруемому ИРФ. Применительно к частоте, например 1 МГц это выглядит вот так: СКО воспроизведения  $S_B = [0,004^{\circ}]$ , НСП воспроизведения  $\theta_B = [0,002^{\circ}]$ , СКО передачи  $S_{\Pi} = 0,005^{\circ}$ . Учитывая, что калибровка требует много больше времени для учёта тонких нюансов при проведении измерения и определения метрологических характеристик с учётом двойного охвата неопределённости, целесообразно выбрать для измерения точки с максимальными значениями погрешности, исходя из принципа действия измерителя разности фаз. Такими точками являются следующие значения УФС:  $90^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$ . Эти точки на фазо-фазовой характеристике объясняются принципом действия двухканальных ИРФ, а именно из-за того, что всё таки существуют связи между каналами – в виде 1) - радиосвязи между двумя входами тщательно экранированных каналов прибора и 2) существует связь между каналами через источник питания, так как указанные каналы питаются от одного источника питания. Эту связь разработчики пытаются сделать очень слабой (до минус 120 дБ), но она получается зависящей от качества экранов каналов друг от друга и от времени. При выпуске с завода изготовленных измерителей разности фаз, все электролитические конденсаторы в стабилизаторе напряжения питания, питающем оба канала, имеют тысячные доли Ома и даже меньше. Этим закорачиваются на землю малые сигналы, проникающие из одного канала в другой через источник питания. Это определяет минимальную связь между каналами и минимальное значение неопределённости измерений. Со временем конденсаторы высыхают и начинается увеличение связи между каналами и возрастание значения неопределённости УФС. Фазовый ряд должен иметь 5 точек – 0,  $90^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$ ,  $360^{\circ}=0^{\circ}$ , точки  $90^{\circ}$  и  $270^{\circ}$  специально выделены. При УФС =  $90^{\circ}$  вектора напряжений дают от связи между каналами максимальное положительное значение, а при УФС =  $270^{\circ}$  дают максимальное отрицательное значение неопределённости измерений.

Частотный ряд должен содержать перекрытие частотного диапазона в 5 точках – две точки у краёв диапазона и три точки в середине диапазона. Калибровку измерителя разности фаз ИРФ любого типа выполняют методом прямых измерений угла фазового сдвига (УФС), задаваемого точной фазометрической аппаратурой ТФА типа АФ-4, которая подключается двумя своими выходами к входным разъёмам ИРФ в соответствии с рисунком 1.

При проведении калибровки проводится серия из  $n = 10$  измерений значений угла фазового сдвига (УФС)  $\varphi_{\text{ИРФ}}$  в каждой из не менее, чем в

5 точках рабочего диапазона УФС (0,  $90^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$ ,  $270^{\circ}$ ,  $360^{\circ}=0^{\circ}$ , в случае качественного прогрева ухода ТФА и ИРФ не будет, точки 0 и  $360^{\circ}$  полностью будут совпадать и возможно говорить только о четырёх точках измерения УФС) и в каждой из не менее, чем в 5 точках частотного диапазона ИРФ. Так например, для ИРФ типа Ф2-34 А это будут точки (2 Гц, 1 кГц, 100 кГц, 1 МГц, 7,5 МГц), а для ИРФ типа ФК2-35 (0,5 Гц, 1 кГц, 100 кГц, 1 МГц, 10 МГц) при установке соответствующих значений частоты  $f_{\text{аф4}}$  выходных сигналов ТФА и при их нулевых ослаблениях сигналов.

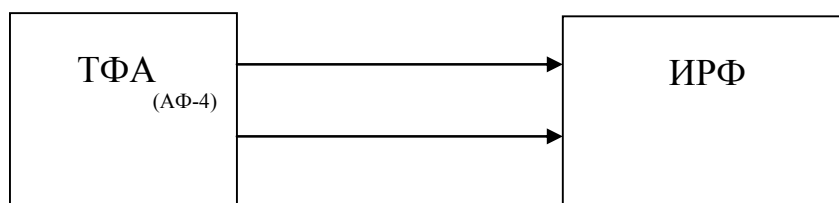


Рис. 1

Калибровку осуществляют следующим образом:

Сначала находят среднее значение УФС из 10 измерений ИРФ ( $n = 10$ )

$$\bar{\Phi}_{\text{ирф}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \Phi_{\text{ирф} i}$$

Оценивают погрешность ИРФ по формуле:

$$\Delta_i = (\Phi_{\text{АФ-4} i} - \bar{\Phi}_{\text{ирф}}) \text{ ф АФ-4 град,}$$

где  $\Phi_{\text{АФ-4} i}$  - текущее значение УФС, воспроизводимого ТФА, град;

$\bar{\Phi}_{\text{ирф}}$  - среднее значение УФС ИРФ, вычисленное по результатам  $n = 10$  измерений, град.

Стандартная неопределенность измерений, оценённая по типу А ( $u_A$ ) равна значению СКО случайной погрешности измерений  $S$ , т.е. ( $u_A$ ) =  $S$ .

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum (\Phi_{\text{АФ-4} i} - \bar{\Phi}_{\text{ирф}})^2}{n(n-1)}}$$

Оценка остальных типов неопределенностей измерений: оцененная по типу В ( $u_B$ ), суммарная стандартная ( $u_C$ ) и расширенная неопределённость для уровня доверия  $p = 0,95$  ( $U_{(0,95)}$ ), выполняется при калибровке следующим образом.

$u_B$  – стандартная неопределенность значения УФС ТФА, оценённая по типу В определяется по формуле:

$$u_B = \theta / 1,1 \times 1,73, \text{ град,}$$

где  $\theta$  – НСП УФС ТФА ( $\Delta$ ) на данной частоте.  $u_C = u(\Delta)$  град.

Суммарная стандартная неопределенность измерений при калибровке ИРФ определяется по формуле:

$$u(\Delta) = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}.$$

Расширенная неопределенность измерений для уровня доверия 0,95 при калибровке определяется по формуле:

$$U_{0,95}(\Delta) = 2u(\Delta).$$

Результаты калибровки ИРФ оформляют сертификатом о калибровке установленной формы. Для получения высоких точностей ТФА следует питать от стандарта частоты и времени типа СЧВ-74 [3].

Калибровка делается в основном на новых образцах приборов, которые разрабатываются для определения метрологических характеристик на любых частотах рабочего диапазона, которые интересуют научных сотрудников - разработчиков для сравнения теоретических метрологических данных новых приборов, созданных в исследовательских лабораториях с действительными метрологическими характеристиками, полученными на образцах, произведённых в заводских условиях массового производства с целью уточнения данных, которые должны быть вписаны в документы на аппаратуру (паспорт, техническое описание и методику поверки).

Поверка будет производиться на аппаратуре в метрологических центрах с целью определения не превышения погрешности в диапазонах частот и УФС, указанных в технической документации на эти приборы согласно методики измерения МИ 1949- 88.

#### Литература

1. Широков К.П. «О проекте рекомендаций ВНИИМ Основные метрологические термины и определения» / К.П. Широков // - «Труды ВНИИМ», - вып . № 28 (88).-1956г - С.49-57.
2. Галахова О.П., Колтик Е.Д., Кравченко С.А. //«Основы фазометрии» «Энергия», Ленинград - 1976.С1 - 256.
3. 3. Кравченко, С.А., Вторжение электроизмерений в нанотехнологии С.А. Кравченко.- //Труды 65 НТК , посвящённой Дню Радио, Санкт-Петербург 2010г., С. 351-352.

#### References

1. Shirokov K.P. On the Draft Recommendations of VNIIM. - Basic Metrological Terms and Definitions. Proceedings of VNIIM, issue 28 (88), 1956.
2. 2.O.P.Galakhova. O.P., Koltik E.D., Kravchenko S.A.- The Fundamentals of Phaseometry./ Galakhov O.P., E.D.Koltik, S.A.Kravchenko /- Energia. Leningrad,., p.1-256.
3. S.A. Invasion of Electric Measurements in Nanotechnology. S.A. Kravchenko //Proceedings of 65 meeting of NTK dedicated to Radio Day, - Saint Petersburg,- 2010,- p.351 - 352.

В.М.ШАПАР, В.С. ЛИСЕНКО,  
 Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАНУ.  
 v.shapar51@gmail.com  
 А.В.САВЧУК  
 Міжнародний центр «Інститут прикладної оптики» НАНУ.

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ ДАТЧИК ТИСКУ МЕМБРАННОГО ТИПУ З КІЛЬЦЕВИМИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИМИ КОЛЕКТОРАМИ

*Дана робота присвячена розробці безконтактного волоконно-оптичного датчика тиску (ВОДТ) на основі функціональної інтеграції волоконної оптики і некогерентної оптоелектроніки. Принцип дії датчика заснований на розподілі сигналу відбитого від гофрованої дзеркальної мембрани по декількох паралельних оптичних каналах за допомогою волоконно-оптичного перетворювача (ВОП) з подальшою математичною обробкою отриманих сигналів у кожному з цих каналів.*

*В доповіді приведені результати теоретичних і експериментальних досліджень конструкції ВОДТ з одним передавальним волоконним каналом круглої форми і кількома кільцевими приймальними волоконними каналами, розташованими концентрично центральному.*

*В експериментальному зразку датчика застосовано два основні і два додаткові вимірювальні приймальні канали, створені на основі малогабаритних прецизійних кільцевих волоконно-оптичних перетворювачів, інтегрованих в монолітний волоконно-оптичний колекторний (ВОК). В порівнянні з волоконними колекторами з прямокутними торцями, які використовуються в відомих аналогах, застосовані в конструкції датчика волоконно-оптичні колектори кільцевої форми дозволили суттєво підвищити точність датчика за рахунок зменшення впливу на характеристику перетворення датчика геометричних похибок розташування торця волоконно-оптичного колектора по відношенню до мембрани в корпусі. Додаткові вимірювальні канали забезпечують температурну стабільність характеристик датчика в широкому діапазоні зміни температури від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .*

*Значна частина доповіді призначена теоретичній моделі датчика і результатам його комп'ютерного моделювання. Прикладне програмне забезпечення для проведення комп'ютерного моделювання і оптимізації конструкції датчика на точність, чутливість і лінійність характеристики перетворення створене в програмному середовищі системи Matlab.*

*Основна похибка вимірювання в експериментальному зразку датчика з гофрованою сталюю мембраною товщиною 20 мкм не перевищує 5% в діапазоні змін тиску  $\pm 0.5$  атм. Лінійна ділянка на характеристиці перетворення з мембраною 20 мкм не перевищує  $\pm 0.1$  атм. Для розширення лінійної ділянки характеристики до  $\pm 0.5$  атм необхідно використовувати мембрани товщиною біля 100 мкм. Областю використання датчиків є нафтодобувна, газова та вугільна галузі промисловості.*

*Ключові слова:* волоконно-оптичний датчик тиску, волоконно-оптичний колектор.

V.M. SHAPAR, V. S. LYSENKO,  
 V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine.  
 A.V. SAVCHUK  
 Міжнародний центр «Інститут прикладної оптики» НАНУ.

## FIBER-OPTICAL MEMBRANE TYPE PRESSURE SENSOR WITH CELLULAR FIBER-OPTICAL COLLECTORS

*This work is devoted to the development of contactless Fiber Optic Pressure Sensor (FOPS) based on the functional integration of fiber optics and incoherent optoelectronics. The principle of operation of the sensor is based on the distribution of the signal reflected from the corrugated mirror membrane over several parallel optical channels using a fiber optic converter (FOC) with subsequent mathematical processing of the received signals in each of these channels.*

*The report presents the results of theoretical and experimental studies of the FOPS design with one transmitting fiber channel of circular shape and several circular receiving fiber channels located concentrically central. In the pilot sample of the sensor two main and two additional measuring receiving channels, created on the basis of small-scale precision circular fiber-optic converters integrated into the monolithic fiber-optic collector), were used. Compared to fiber-optic collectors with rectangular ends used in known analogs, the fiber-optic collectors of the annular shape used in the design of the sensor have significantly improved the accuracy of the sensor by reducing the effect on the geometric errors of the location of the fiber optic collector towards the membrane in body.*

*Additional measuring channels provide temperature stability of the sensor characteristics in a wide range of temperature changes from  $-10^{\circ}\text{C}$  to  $+40^{\circ}\text{C}$ .*

*Much of the report is devoted to the theoretical model of the sensor and the results of its computer modeling. Application software for conducting computer simulation and optimization of sensor design for precision, sensitivity and linearity of the conversion characteristics created in the software environment of the Matlab system.*

*The main measurement error in the experimental sample of the sensor with a corrugated steel membrane with a thickness of  $20\ \mu\text{m}$  does not exceed 5% in the range of pressure variations  $\pm 0.5\ \text{atm}$ . The linear section on the conversion characteristic with a membrane of  $20\ \mu\text{m}$  does not exceed  $\pm 0.1\ \text{atm}$ . To expand the linear section of the characteristic to  $\pm 0.5\ \text{atm}$  it is necessary to use membranes with a thickness of not less than 100 microns. The scope of the use of sensors is the oil, gas and coal industries.*

**Keywords:** fiber-optic pressure sensor, fiber-optic collector.

При розробці та впровадженні сучасних систем контролю за технологічними процесами фахівці з різних галузей техніки часто стикаються з проблемою, коли існуючі типи датчиків, що серійно виготовляються, не відповідають сучасним вимогам надійності і безпеки при їх використанні в вибухонебезпечних середовищах. Тому багато вчених та інженерів різного фаху активно працюють над створенням принципово нових видів датчиків на основі волоконної оптики. Особливо бурхливо розвивається напрямок волоконно-оптичних датчиків у США, Франції, Великобританії, Японії. Наприклад, у США в новому поколінні льотних апаратів частка волоконно-оптичних датчиків становить понад 60 %. В Україні волоконно-оптичні датчики не виготовляються.

Загальні фізичні основи і підходами щодо побудови і застосування різного роду волоконно-оптичних датчиків, принцип дії яких базується на зміні амплітуди, частоти, фази, або поляризації світла детально викладені в [1,2]. Там же розглянуті методи обробки і представлення інформації, вимірювальні системи і елементна база оптичних датчиків, до яких відносяться оптичні світловоди, градієнтні оптичні лінзи, поляризаційні елементи, інтерферометри, волоконно-оптичні гіроскопи тощо. Разом з тим, у монографіях [1,2] практично не проаналізовані технічні рішення конструкцій волоконно-оптичних датчиків з відбиваючою мембраною, в тому числі і новітні технічні рішення, принцип дії яких покладено в основу розробки датчика тиску, представленого в цій доповіді.

Один з можливих напрямків створення надійного вибухобезпечного датчика тиску базується на основі функціональної інтеграції некогерентної оптоелектроніки і волоконної оптики шляхом використання в датчиках волоконно-оптичних перетворювачів (ВОП). Серед різного типу безконтактних ВОП самостійний клас займають ВОП з зовнішньою амплітудною модуляцією інтенсивності світлового потоку.

Амплітудна модуляція випромінювання зручна для подальшої обробки вихідного сигналу оптичного датчика, не пред'являє спеціальних вимог до випромінювача. Крім того, амплітудно модульований сигнал реєструється безпосередньо за допомогою звичайного фотоприймача і не потребує додаткової обробки сигналу. Завдячуючи простоті конструкції, датчики з зовнішньою амплітудною модуляцією інтенсивності променів можна віднести до надійних недорогих виробів, перспективних для масового виробництва.

Принцип функціонування оптичних датчиків тиску на основі ВОП є схожим з принципом дії датчиків переміщення, вібрації та радіальних биттів[3,4]. Для більш наглядного сприйняття розглянемо датчик лінійного переміщення. В датчиках тиску використовується розподіл сигналу відбитого від поверхні гнучкої мембрани по паралельних оптичних каналах за допомогою ВОП з подальшою математичною обробкою отриманих сигналів у кожному з цих каналів. А в датчиках переміщення і вібрації від поверхні досліджуваного об'єкту. Для прикладу, на рис.1(а) схематично показано датчик лінійного переміщення, побудований на базі трьохканального кільцевого ВОП, в якому центральний канал, використовується як випромінювальний, а кільцеві канали як приймальні. На рис. 1(б) приведені розраховані типові характеристики перетворення для такого датчика, отримані методом комп'ютерного моделювання в програмному середовищі системи Matlab для однієї з структур волоконного колектора.

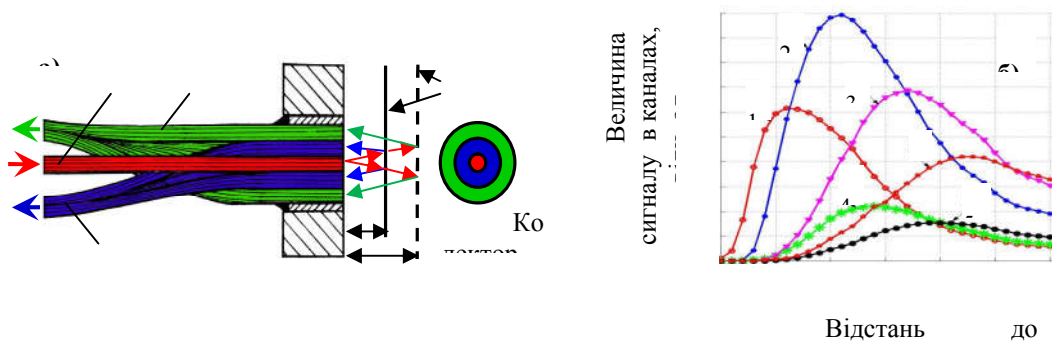


Рис. 1. Схема волоконно-оптичного датчика лінійних переміщень (а) і розраховані характеристики перетворення датчика (б).

Працює такий пристрій наступним чином. Світло від джерела випромінювання передається по центральному волоконному каналу до загальної торцевої поверхні волоконного колектора і випромінюється в напрямку об'єкта. В якості досліджуваного об'єкта може бути плоска або циліндрична поверхня, наприклад поверхня валу, що обертається. Відбите від об'єкта світло потрапляє в кільцеві канали 2 і 3 і передається по світловодах до фотоелектричних приймачів, розташованих на виходах відповідних волоконних каналів колектора. Величина фотосигналу в кожному з цих каналів і їх співвідношення між собою залежать від відстані до об'єкта. Принцип дії датчика тиску з гофрованою дзеркальною мембраною подібний.

В даній роботі проведено розробку волоконно-оптичного датчика тиску з дзеркальною гофрованою мембраною, побудованого на основі прецизійних кільцевих волоконно-оптичних перетворювачів з додатковими волоконно-оптичними каналами. Використання кільцевих перетворювачів замість прямокутних в конструкції датчика дозволяє суттєво підвищити точність датчика за рахунок зменшення чутливості характеристики перетворення датчика до лінійних і кутових похибок розміщення волоконно-оптичного колектора по відношенню до мембрани. Додаткові кільцеві оптичні канали забезпечують датчику стабільність в широкому діапазоні зміни температури.

Оскільки такі перетворювачі на сьогодні не виготовляються в жодній країні світу, завданням цієї роботи являлось також відпрацювання технології і виготовлення партії мініатюрних кільцевих волоконно-оптичних перетворювачів з заданою геометрією кільцевих каналів для різного роду датчиків фізичних величин, в тому числі для датчиків тиску [3].

На рис. 2 приведено фото датчика тиску і характеристика перетворення датчика, працюючого на вказаному принципі. В датчику використана гофрована стальна мембрана товщиною 20 мкм.

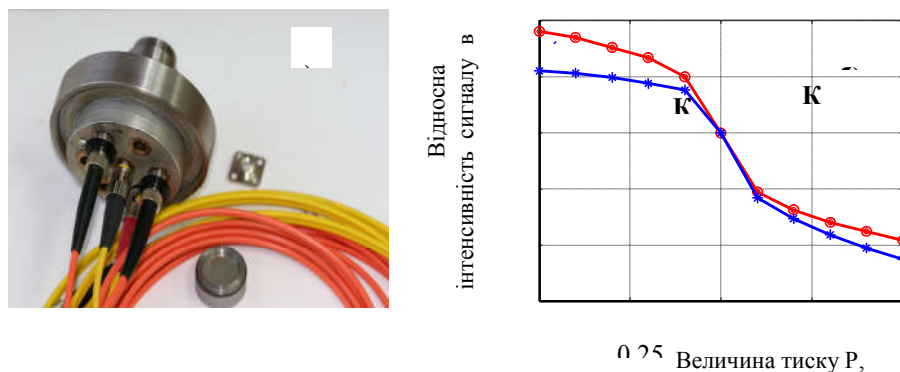


Рис.2. Волоконно-оптичний датчик тиску з волоконними лініями зв'язку (а) і експериментальна характеристика перетворення датчика тиску (б).

### Література

1. Бусурин В.И., Носов Ю.Р. “Волоконно-оптические датчики: Физические основы, вопросы расчета и применения.” – М.: Энергоиздат, 1990, - 256 с.: ил.
2. Окоси Т. и др. “Волоконно-оптические датчики.” Под редакцией Т. Окоси; Пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 256 с.: ил
3. Volodymyr N.Shapar, Volodymyr S. Lysenko, Alla V. Bondarenko “Multichannel fiber-optic ring converters for optical sensors of physical quantities” // Journal of Nano Research Vol. 39, p.221-227, 2016.
4. Шапар В.М., Свечников С.В., Осипов С.И., Хиврич В.И., Пиньковська М.Б. “Прецизійні кільцеві волоконно-оптичні перетворювачі для волоконно оптичних датчиків фізичних величин” // 2-га Міжнародна науково технічна конференція “Сенсорна електроніка та мікросистемні технології” (СЕМСТ 2). Одеса, 26-30 червня 2006 р. Тези доповідей. С. 128.

### References

1. Busurin V.I., Nosov YU.R. “Volokonno-opticheskiye datchiki: Fizicheskiye osnovy, voprosy rascheta i primeneniya.” – М.: Energoizdat, 1990, - 256 s.: il.
2. Okosi T. i dr. “Volokonno-opticheskiye datchiki.” Pod redaktsiyey T. Okosi; Per. s yapon. – L.: Energoatomizdat. Leningr. otd-niye, 1990. – 256 s.: il.
3. Volodymyr N. Shapar, Volodymyr S. Lysenko, Alla V. Bondarenko “Multichannel fiber-optic ring converters for optical sensors of physical quantities” // Journal of Nano Research Vol. 39, p.221-227, 2016.
4. Shapar V.M., Svechnikov S.V., Osypov S.I., Khivrych V.I., Pin'kov's'ka M.B., “Pretyziyini kil'tsevi volokonno-optychni peretvoryuvachi dlya volokonno optychnykh datchyktiv fizychnykh velychyn” // 2-ha Mizhnarodna naukovu tekhnichna konferentsiya “Sensorna elektronika ta mikrosystemni tekhnolohiyi” (SEMST 2). Odesa, 26-30 chervnya 2006 r. Tezy dopovidey. S. 128.

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СВЕРХКОРОТКИХ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

*Аннотация.* Предлагается метод измерения эффективной длительности оптических импульсов произвольной формы на стороне приема. Задача решается для сверхкоротких импульсов длительностью порядка 0,1-1 пс. Метод основан на спектральном представлении сигнала и косвенных измерениях с использованием функциональных преобразований отсчетов энергетического спектра.

*Ключевые слова:* дисперсия, сигнал, форма импульса, косвенные измерения, спектр.

N.A. ODEGOV, E.V. YUR'eva  
 A.S. Popov Odessa national academy of telecommunication  
 onick\_64@ukr.net, vols@onat.edu.ua

## SPECTRAL METHOD OF MEASURING THE EFFECTIVE DURATION OF SUPERSHORT OPTICAL PULSES

*Abstract.* A method is proposed for measuring the effective duration of optical pulses of arbitrary shape on the receiving side. The problem is solved for ultrashort pulses of duration on the order of 0.1-1 ps. The method is based on the spectral representation of the signal and indirect measurements using functional transformations of energy spectrum samples. The essence of the method is the following. The energy spectrum of the optical signal is a stable characteristic. This function is slightly influenced by the different types of dispersion in the optical fiber. Thus, it can be used as some invariant of the optical pulse. In this case, we note that the shape of the pulse in the time domain is distorted significantly. Expressions for the dispersion functional were obtained in the previous papers of the authors. This functional allows us to connect the energy spectrum of the signal with its effective duration. The concept of pulse duration of an undefined form is further refined. For this, Chebyshev's inequality, known from probability theory, is used. Specifically, a typical case of a narrowband transmission channel with a width of about 100 GHz is considered. This corresponds to one frequency channel of the transmission equipment of type STM-16 or STM-16. It is believed that as a result of the effect of dispersion, the initial duration of the optical pulse at a distance of 100-300 km can increase by a factor of 10-100. Fundamentally important in this report is the condition that it is necessary to measure the duration of pulses of an arbitrary initial form. This provision follows from the earlier work of one of the co-authors. The essence of these works is to propose a method of substantially increasing the spectral efficiency of fiber-optic transmission systems. The method is based on the use of the alphabet of signals with different low-frequency envelope in the time domain. Preliminary calculations show that such a method allows increasing the transmission channel capacity by about an order of magnitude. In this case, an already used optical cable is used. Clarification of the adequacy of this method requires direct measurements of the duration of pulses of different shapes. These aspects are the subject of this report.

*Keywords:* dispersion, signal, pulse shape, indirect measurements, spectr.

Перспективным методом повышения спектральной эффективности волоконно-оптических систем передачи (ВОСП) является использование алфавита сигналов с амплитудной модуляцией и частотной манипуляцией [1]. Практическая реализация данного метода требует выполнения измерений длительности оптических импульсов на стороне приема ВОСП для проверки теоретических положений.

Прямые измерения длительности сверхкоротких импульсов (порядка 1-100 пс) путем определения задержки между передним и задним фронтами представляется сложной технической задачей. Косвенные измерения путем использования коэффициентов дисперсии [2] не позволяют определить длительность импульса на стороне приема при различной их начальной форме. Пример чувствительности дисперсионного расширения импульсов приведен на рис. 1.

Таким образом, ставится задача измерения длительности оптического импульса произвольной начальной формы на стороне приема. В качестве показателя длительности импульсов, не имеющих четко выраженных границ, применяется т.н. эффективная длительность (ЭД) [3]:

$$T_{eff}^2 = \frac{1}{\|U\|} \int_{-\infty}^{\infty} (t - t_{mid})^2 U^2(t) dt, \quad \|U\| = \int_{-\infty}^{\infty} U^2(t) dt, \quad (1)$$

где среднее время  $t_{mid}$  можно положить равным нулю, а норма  $\|U\|$  – «энергия» импульса. ЭД импульса на стороне приема можно представить в виде суммы:  $T_{eff}^2(z) = T_{eff}^2(z=0) + \Delta T_{eff}^2(z)$ , где  $T_{eff}^2(z=0)$  – ЭД в момент ввода импульса в оптическое волокно (ОВ);  $\Delta T_{eff}^2(z)$  – приращение ЭД на расстоянии  $z$  от точки ввода (длины ОВ). В реальных системах выполняется условие  $\Delta T_{eff}^2(z) \gg T_{eff}^2(z=0)$ .

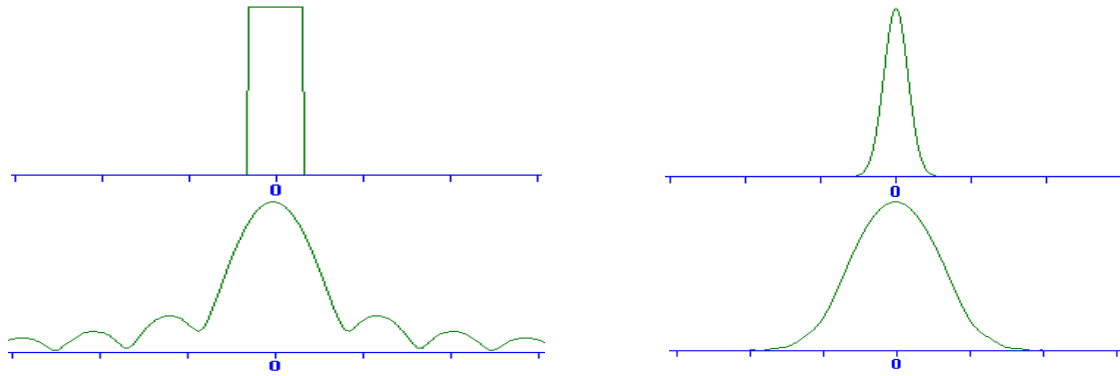


Рис. 1. Модель зависимости формы импульсов на расстоянии 10 км от их начальной формы

Рассмотрим типичный случай одного частотного канала оборудования типа STM-16 или STM-16. Ширина канала в частотной области 100 ГГц, что в окрестности окна прозрачности 1550 нм дает полосу частот порядка 0,8-1,0 нм. При типичном значении [2] коэффициента дисперсии 1-3 пс/(нм·км), на типичной длине регенерационного участка и при начальной длительности импульса порядка 1-3 пс получаем приблизительно 100-кратное увеличение ЭД. Далее будем полагать  $T_{eff}^2(z) \approx \Delta T_{eff}^2(z)$ . Для этого случая получена формула [1], выражающая ЭД импульса через энергетический спектр:

$$T_{eff}^2(z) = \frac{2\varphi^2(\omega_0)\tau^2}{\pi\|U\|} \int_{-\Delta\Omega}^{\Delta\Omega} \Omega^2 G^2(\Omega) d\Omega, \quad (2)$$

где  $\varphi(\omega_0)$  – значение дисперсионной функции в точке  $\omega_0$  – значении центральной частоты канала (несущей частоты излучения лазера);  $\tau$  – время распространения импульса вдоль ОВ;  $\Omega$  – девиация частоты относительно несущей в пределах одного частотного канала  $[\omega_0 - \Delta\Omega, \omega_0 + \Delta\Omega]$ . Дисперсионная функция определяется зависимостью от значения первой и второй производной коэффициента преломления в точке  $\omega_0$ :  $\varphi(\omega_0) = 2n'(\omega_0) + n''(\omega_0)\omega_0$ . Время  $\tau$  определяется как функция известной длины линии и групповой скорости:  $\tau = z / V_{gr}$ .

Таким образом, коэффициент перед интегралом в выражении (2) однозначно определяется параметрами ВОСП и в каждом конкретном случае может быть вычислен. В метрологической схеме необходимо определить лишь оценку значения интеграла.

В подынтегральном выражении фигурирует энергетический спектр сигнала. Для его определения входной сигнал подается на систему дифракционных решеток с достаточной разрешающей способностью [4]. В результате получается система отсчетов:  $G(\omega_0 \pm k\delta\Omega)$ ,  $k = 1 \dots N$ ,  $N\delta\Omega = \Delta\Omega$ , где шаг сетки частот  $\delta\Omega$  определяется разрешающей способностью системы дифракционных решеток. Далее полученные отсчеты энергетического спектра подаются на входы оптических усилителей, коэффициенты усиления которых пропорциональны, соответственно, известным величинам  $\delta\Omega^2$ . Далее полученные сигналы из различных частотных каналов подаются на суммирующий усилитель.

Также считаем необходимым уточнить следующее. Сам по себе показатель (2) не имеет физического смысла. Его можно использовать лишь для сравнения относительной длительности разных импульсов. В то же время, нормированная амплитудная функция сигнала во временной области имеет

следующие свойства:  $U^2(t) \geq 0, \forall t; \frac{1}{\|U\|} \int_{-\infty}^{\infty} U^2(t) dt = 1$ . Таким образом, по своим математическим

свойствам данная функция ничем не отличается от плотности распределения вероятностей. Следовательно, справедливо неравенство Чебышева. Поэтому в качестве конечной характеристики можно использовать выражение  $\Delta T_{Ch} = 6\sqrt{T_{eff}^2(z)}$ . При этом для импульса любой формы порядка 90% его энергии будет сосредоточено в интервале  $T_{Ch}$ , что и можно считать физически интерпретируемой характеристикой длительности импульса.

Принципиальная схема измерительного устройства дана на рис. 2.

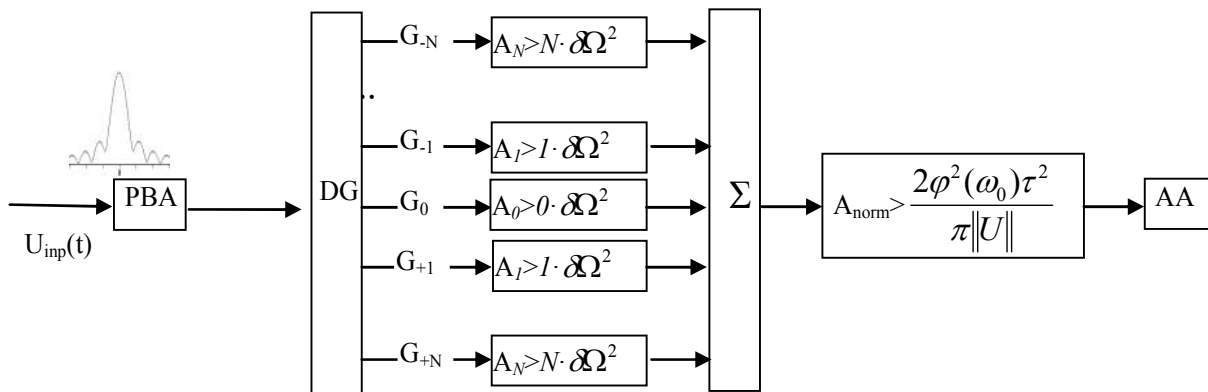


Рис. 2. Принципиальная схема измерительного устройства

PBA – предварительный широкополосный усилитель DG – дифракционная решетка;  $G_k$  – отсчеты энергетического спектра;  $A_k$  – усилители с коэффициентами усиления, пропорциональными квадратам девиации частоты;  $\Sigma$  – оптический сумматор;  $A_{norm}$  – усилитель-нормализатор размерности; AA – анализатор амплитуды. Амплитуда импульса на выходе устройства пропорциональна длительности входного импульса

### Литература

1. Одегов Н.А. Передача информации оптическими импульсами равной дисперсии / Н.А. Одегов // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. - 2017. - № 2. – С. 28 -38.
2. Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели. Теоретические основы, конструирование и расчет, технология производства и эксплуатация: монография. / О.В. Бондаренко, Д.В. Иоргачев, А.Ф. Данченко, А.В. Усов. – Одесса, Астропринт, 2000. – 536 с.
3. Варакин В.А. Теория сложных сигналов.- М: Советское радио, 1970. – 376 с.
4. Одегов М.А. Метод розрізнення оптичних сигналів в частотній області / М.А. Одегов, О.П. Младінов // Матеріали 72-ї наук.-техн. конференції професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів 13-15 грудня 2017 р., Одеса. - С. 53 - 55.

### References

1. Odegov N.A. Peredacha informacii opticheskimi impul'sami ravnoj dispersii / N.A. Odegov // Naukovi praci ONAZ im. O.S. Popova. - 2017. - № 2. – S. 28 -38.
2. Bondarenko O.V. Volokonno-opticheskie kabeli. Teoreticheskie osnovy, konstruirovaniye i raschet, tekhnologiya proizvodstva i ehkspluatatsiya: monografiya. / O.V. Bondarenko, D.V. Iorgachev, A.F. Danchenko, A.V. Usov. – Odessa, Astroprint, 2000. – 536 s.
3. Varakin V.A. Teoriya slozhnyh signalov.- M: Sovetskoe radio, 1970. – 376 s.
4. Odegov M.A. Metod rozrznennya optichnih signaliv v chastotnij oblasti / M.A. Odegov, O.P. Mladinov // Materiali 72-ї nauk.-tekhn. konferencii profesors'ko-vikladac'kogo skladu, naukovciv, aspirantiv ta studentiv 13-15 grudnya 2017 r., Odessa. - S. 53 - 55.



A.B.SHANDYBA, O.O. VASILENKO, A.V. TOLBATOV,  
O.V. SEMERNA, L.V. AMBARJAN  
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
V.S. VAKAL

Sumy State Research Institute of Fertilizers and Pigments, Sumy, Ukraine  
abshandyba@ukr.net; tolbatov@ukr.net

## NEW PHOSPHATE FERTILIZERS WITH ORGANIC COMPONENTS

**Annotation.** The increase in yield per hectare was due largely to the improvement in biological/genetic technology and production techniques as well as the continuous application of fertilizers and pesticides. The agronomic effectiveness of new fertilizers produced by the Sumy Phosphate Corporation (SumyKhimprom) has been studied by conducting pot and field trials with wheat and maize as test crops at Sumy and Kharkov regions.

Physical and chemical properties of granular mineral fertilizers, in particular, their solubility in the ground-water systems of irrigable agricultural lands is played extraordinarily important role. Process of sign-up of plants, so in the decision of ecological problems of contamination of water sources by biogenic components. witnesseth that too high solubility of granules increases part of movable components that dart out in ground or superficial water substantially. On the other hand, subzero indexes of solubility of fertilizers are reason of the uneffective mastering of nutritives in the process of vegetation. Influence of grain-size distribution of fertilizers on the height of spades of curves of washing in theory is illustrated by experimental data. Shown remaining mass of granules of different diameter (proportional to his cube) at equal to the agrotechnical norm of bringing and duration of precipitations. Prior to the registration of a new agricultural chemicals or the reregistration of a well established one, extensive studies of its environmental behavior are conducted. These include water solubility, mobility in a variety of soil types, persistence in soils and rate of hydrolysis. It is possible to make predictions, based on these properties of the fertilizers and its use pattern, whether the chemical components are likely to reach surface or ground water and how long it will remain there. Mathematical models can sometimes complement experimental work on the fertilizers and assist with such predictions.

The distinction needs to be made between the use of fertilizers according to Good Agricultural Practices (GAP) and their improper use or disposal. In those situations, where fertilizers are improperly used or where spillage or improper disposal occurs, the that chemical components will reach surface or ground water is clearly greater than where GAP is employed. A comprehensive risk assessment method of health loss and socio-economic consequences after the occupational accident is considered. The disability insurance management has to recognize that further emphasis should be given to promoting scientifically sound models with optimization of data processing under industrial safety providing.

**Key words:** fertilizers, migration, organic components, mathematical model, persistence in soils, environmental behavior, Good Agricultural Practices (GAP).

О.Б. ШАНДИБА, О.О. ВАСИЛЕНКО, А.В. ТОЛБАТОВ, О.В. СЕМЕРНЯ, Л.В. АМБАРЯН  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
В.С. ВАКАЛ

Сумський державний науково-дослідний інститут мінеральних добрив та пігментів, м. Суми, Україна

## НОВІ ФОСФАТНІ ДОБРИВА З ОРГАНІЧНИМИ КОМПОНЕНТАМИ

**Анотація.** Підвищення врожайності сільськогосподарських культур потребує удосконалення агротехнологій та виробничої техніки в умовах тривалого застосування мінеральних добрив і пестицидів. Агроефективність міндобрив нового покоління, що виробляє ПАТ «СумиХімпром» в тепличних та польових умовах була предметом досліджень тестових врожайів пшениці та кукурудзи в Сумській та Харківських областях. Пріоритетом для реєстрації нових агрохімічних засобів поряд з широко розповсюдженими методиками досліджень був їх вплив на довкілля, що, зокрема, характеризується електропровідністю ґрунтово-водного розчину. Це включало водорозчинність, рухомість, компонентів в різних типах ґрунтів, стійкість до вимивання та ступінь гідролізу, тощо. Існує можливість комп'ютерного прогнозування, що враховує властивості добрив та їх зразків, враховуючи на схильність складових компонентів мігрувати до поверхні ґрунту чи в ґрунтові води і терміну їх перебування там. Математична модель може бути доповненням експериментальних даних стосовно міндобрив та оцінкою таких прогнозів. Необхідно розрізняти застосування міндобрив у відповідності до агроекологічних норм на відміну від неправильної практики їх внесення в ґрунт. В таких ситуаціях кількість хімічних компонентів, що досягнуть поверхневих чи ґрунтових вод буде значно перевищувати допустимі рівні.

**Ключові слова:** мінеральні добрива, міграція, органічні компоненти, математична модель, стійкість до вимивання, екологічна поведінка, адекватна агрономічна практика (GAP).

### 1. Phosphate fertilizers with organic components.

GRANPHOS is a long-time action fertilizer produced by composition of N, P, organic matter and Ca, Mg accompanying elements. According to the environmental recommendations it may be used in spring with N-K or in autumn with K- fertilizer. Quantity ratio of fertility components can vary. GRANPHOSKA is an improved fertilizer with NPK – 1:18.5;  $P_2O_5$  total – 17,8%;  $P_2O_5$  access. -15,8%; N – 0,85%;  $K_2O$  total. - 4,5%;  $H_2O$  – 0,5%; GUMIAGROPHOS is produced with phosphate wastes and adding  $(NH_4)_2SO_4$ . Percentage of active ingredients are N – 1,8 %,  $P_2O_5$  total > 9%;  $P_2O_5$  access > 7,8%;  $K_2O$  > 1,5%; organic matter – 1%. AMMOPHOS is traditional fertilizer product including N – 10,9 %;  $P_2O_5$  total. – 49,3%;  $P_2O_5$  access – 45,4%;  $H_2O$  – 0,3%; pH of 10% suspension –

4.45%; Cd – 22.7 mg/kg; Pb – 33mg/kg; As – 2,5 mg/kg, organic matter – 1,2 %. MELIORANT is a long-time fertility composition also produced with phosphate wastes and organic ingredients for treatment of saline and contaminated soils. Percentages of active ingredients are  $P_2O_5_{total} > 8\%$ ,  $P_2O_5_{access} > 7\%$ ,  $CaO > 20\%$ ,  $S > 7\%$ . The basal optimal dose of MELIORANT is 2-3 t/ha. The observations suggest that the application of mineral-organic fertilizer may not alter the soil pH improving fertility properties, but also fix the dangerous chemicals.

**2. Agronomic and environmental evaluation.** Maize crops in three different cases were studied in field trials. These experiments have demonstrated that using environmental mineral-organic fertilizer presented no problem for agro-techniques with yield growth to 1.5 times average. Shoot and root growth, as well as the plant height, improved in maize at the optimal dosage, compared to unfertilized control field. To identify ecological characteristics of fertilizers for interrupted migration regime we must find the adequate experimental dependence of their relation on rain (snowmelting) intensity. The likeness of the experimental curves which correspond to interrupted as well as uninterrupted regimes produces the reasons for achievement of the predictive aims of the suggested model under native weather conditions. The two-dimension experiment was carried on the thin-layer model. A soil sample were placed in the box  $100 \times 60 \times 10$  cm. In order to measure the concentration distribution into layer it was first necessary to apply the conductometer method. The result for relational conductivity shows that the pollution redistribution caused by precipitation depends upon the box slope, soil structure and individual distance from watershed (Fig.1). A very important application of this investigation was to predict the pollution area as the ecological consequence of the chemical substances migration in soil-water systems. The results of modelling under real landscape and weather conditions are presented as the residue relational pollution of the contamination fields. This soil-geochemistry mapping demonstrates great changes of the concentration isolines which are due to relief, soil properties and precipitation intensity. Various natural soil, plants and landscape geochemical agents have been considered as accumulating for the soil pollution. The content of fertilizers/pesticides elements depends not only the agrochemical treatment intensity, but also on soil texture, redox conditions, relief slope and location of soil in the system of elementary landscapes. Thus, a number of methods are available for specifying with regard to assessment of agrochemicals movement. But difficulties can arise because of antagonistic or synergistic effects resulting from the presence of a mixture of different fertilizers components and it may be appropriate to use a holistic approach when fields with comparable histories are being considered [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13].

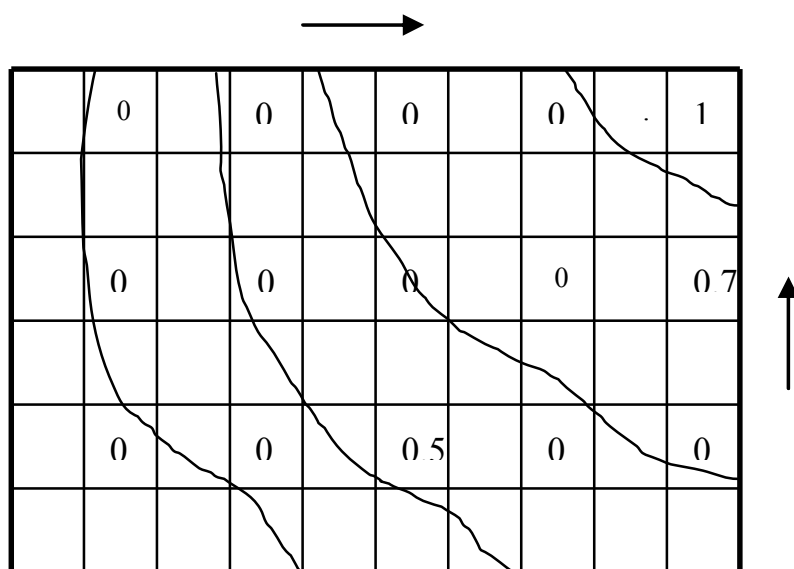


Fig.1 Relational conductivity of initially equal contaminated sand after equal precipitation

**3. Ecological risk assessment.** The assessment and forecast of migration consequences on a field is very difficult to prepare because the nature of contamination can be so varied. Besides, there are differences in migration behavior between contaminants into different soil-water systems then toxicological risk assessment should be made on case by case basis for each soil. Under some circumstances, limiting contaminants can reach ground and surface water, the most likely being interrupted drift and run off from the contaminated site. Some authorities, therefore, are issuing directives requiring that at the control border no limiting contaminant shall be present in lysimeter outlet water above a given maximum concentration. On the other hand, modern analytical techniques are now able to detect trace amount of chemicals in water which, sometimes, are present at concentrations well below those that could cause harmful effects. Prior to the agricultural chemicals use, extensive studies of its environmental behavior should be conducted. At the same time, computer programmes and modern survey instruments have revolutionised mapping techniques and manipulation of information [3-5], [6], [7], [8], [9], [10]. [11], [12], [13]. Under real environmental management it is possible to make a risk assessment, based on the integer loss function calculated for limiting contaminant at the control border

$$F = \frac{\int_{XX^*} \int_{\tau} \psi q C l dx d\tau}{M_0 S} \quad (1)$$

where  $\psi$  - hydraulic transfer parameter;  $q$  - precipitation intensity,  $m^3 / HaS$ ;  $C$  - actual concentration;  $l$  - length of a flow line from watershed  $OO^*$  to the control border  $XX^*$ ;  $dx$  - element of control border;  $d\tau$  - element of summary time of precipitation;  $M_0$  - initial contaminant content,  $Kg/Ha$ ;  $S$  - control area,  $Ha$ .

**SUMMARY AND CONCLUSIONS.** The fertilizer policy is being critically reviewed in recent years because of the growing annual deficit. The experimental data with maize showed that complex lower mineral-organic fertilizers were as effective as the traditional expensive fertilizer for all the plant growth parameters studied. There were number limitations for this trend, chief among which is that fertilizer industry may have to reduce the current production capacity. But the government intervention in fertilizer marketing is unavoidable in promoting any fertilizer application. Ecology damage consequences caused by chemicals migration or unsound agricultural practices may be prevented by means of the effective geotechnical structures, environmental monitoring as well as safe use of agrochemicals. In order to minimize movement of any chemicals into ground and surface water it may be necessary to make a long-term ecology forecast (including soil-geochemistry mapping) based on computer simulation of the interrupted mass-transfer processes in soil-water systems. The environmental migration of dangerous chemicals depends upon relief, weather, hydrogeological, pH and redox conditions as well as diffusion characteristics.

### References

1. Boron K., Ryzec M. 1993. The effect of the power-plant ash yard in przezchlebie on pollution of soils and plants in the adjacent area. 4-th Int. Symposium, Krakow, Poland, *Druc.Narodova Publ.*, pp 553-559.
2. Bresler E., McNeal B.E. & Carter D.L. 1982. *Saline and Sodic Soils*. Berlin, Geidelberg, New York: Springer-Verlag Publishing.
3. Rasig H. 1996. UTA International, pp. 190-192.
4. Rowell D. 1994. *SOIL SCIENCE: Methods and Applications*. London, Longman Group UK, 486p.
5. Shandyba A.B. 1995. Ecology forecast for migration of the chemical substances into ground and surface water. *Fresenius Env. Bulletin*, N 4, Basel, Switzerland, pp 80-85.
6. Shandyba, D. M. Shpetny. 2015. Pollution migration forecast for soil geochemistry mapping.
7. Geomatics, Landmanagement and Landsc ape, No. 3 • 2015, pp 101–112.
8. Tolbatov A. Theoretical bases, methods and technologies of development of the professional activity analytical estimation intellectual systems / Zaritskry, O., Pavlenko, P., Sudic, V., Tolbatov, A., Tolbatova, O., Tolbatov, V., Tolbatov, S., Viunenko, O. / 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017 – Proceedings – Lviv, 2017. – P. 101–104.
9. Tolbatov A. Data representing and processing in expert information system of professional activity analysis / Zaritskiy, O., Pavlenko, P., Tolbatov, A. / 2016 Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings of the 13th International Conference on TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 831–833.
10. Tolbatov A.V. Functional modeling – methodological basis for investigation of business processes at industrial enterprises / A.V. Tolbatov, S.V. Tolbatov, O.O. Tolbatova, S.V. V.A. Tolbatov // Magazine Measuring and computing devices in technological processes. – *Khmel'nyts'kyy*, 2017. – №3 –P.186–189.
11. Tolbatov A.V. Business processes management at machine-building enterprise / A.V. Tolbatov, O.O. Tolbatova, I.A. Shekhovtsova, V.A. Tolbatov // International scientific-technical magazine Measuring and computing devices in technological processes. – *Khmel'nyts'kyy*, 2017. – №4 –P. 119–124.
12. Tolbatov A.V. Information technology for data exchange between production purpose integrated automated systems / P.M. Pavlenko, A.V. Tolbatov, V.V. Tretiak, S.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, H.A. Smolyarov, O.B. Viunetko // International scientific-technical magazine Measuring and computing devices in technological processes. – *Khmel'nyts'kyy*, 2016. – №1 –P. 86–89.
13. Tolbatov A.V. Information and analytical sustention of the transformation process of the management system of development of the ukrainian industry strategic potential / A.V. Tolbatov, M.A. Chuprina, I.A. Shekhovtsova // International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. *Hmel'nuckyi*. – 2018. – №1 – P.114-118.
14. Tolbatov A.V. Technology of acceptance of administrative decisions on the stage of technical preproduction / P.M. Pavlenko, V.V. Tretiak, A.V. Tolbatov, G.A. Smolarov, V.A. Tolbatov // International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. *Hmel'nuckyi*. – 2018. – №1 – P.76-79.
15. Tolbatov A. Mathematical models for the distribution of functions between the operators of the computer-integrated flexible manufacturing systems / Lavrov, E., Pasko, N., Krivodub, A., Tolbatov, A. / 2016 Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings of the 13th International Conference on TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 72–75.

**ВИЗНАЧЕННЯ ОРБИТИ ЦЕНТРУ ОБЕРТАННЯ РОТОРА ПОТУЖНОГО  
ГЕНЕРАТОРА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИМІРЮВАННЯ ПОВІТРЯНОГО ЗАЗОРУ**

*В доповіді розглядається використання результатів вимірювання повітряного зазору між статором та ротором в потужному генераторі гібридними електронно-оптичними вимірювачами з ємнісними сенсорами для визначення орбіти центру обертання ротора. Розглянуто спосіб визначення орбіти руху центру вала ротора потужних. Запропонований спосіб може бути використаний для реалізації програмно-математичного забезпечення систем технічної діагностики. Показано, що аналіз масивів даних за декілька обертів дозволяє отримувати статистичні дані про динаміку поведінки електрообладнання, зокрема про стабільність орбіти ротора.*

*Ключові слова: генератор, ротор, статор, повітряний зазор, ємнісний сенсор, орбіта, годограф.*

I.O. Zaitsev, A.S. Levytskyi  
Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine,  
zaitsev@i.ua

**DETECTION POWER GENERATORS ROTOR ORBIT BASED ON THE MEASUREMENT OF THE AIR GAP**

*In this paper presents considers the use of measurement results of air gap between rotor and stator in power generator by hybrid electron-optical meters with capacitive sensors to determine the orbit of the rotor center. The trajectory of the center of the rotor it's the one of the informative parameters for fault diagnostics system of synchronous power generator that can be used in it's diagnosing. Analysis of the change of orbit in dynamics allows to analyze the control and diagnostic parameters, deviations from the norm is accompanied by a change in physical processes in the nodes of the hydrogenerator and is a characteristic of its technical state. The results of the analysis allow to predict the possibility of a defect, a possible variant of its development, to determine the degree of risk of development of the defect. The peculiarity of this analysis is the use of air gap data between the stator and the rotor, obtained for several turns of the rotor. Considering that, except for emergencies, the change of air gap is relatively slow, it is possible to use systems with periodic measurements, saving results to the built-in flash memory with the subsequent transfer of data to the processing system.*

*The method of determining the orbit of the center of the shaft of a powerful rotor is considered. Ability to use vibration or movement sensors for building the shaft orbits is based on the fact that the rotation shaft is oscillating / moving and moving it axially proportion of this oscillation / movement. These vibrations / movements cause a corresponding vibration of the stator.*

*The proposed method can be used for implementation of software and mathematical support of systems of technical diagnostics. It is shown that analysis of data arrays in several turns allows to receive statistical data on the dynamics of behavior of electrical equipment, in particular about the stability of the rotor's orbit.*

*Keywords: generator, rotor, stator, air gap, measurement, orbit, hodograph*

Одними із інформативних параметрів, що можуть бути використаними при діагностуванні потужних генераторів є параметри траєкторії руху центру ротора. У вітчизняній та іноземній літературі ця траєкторія набула назви орбіта або годограф [1,2]. Аналіз зміни орбіти в динаміці дозволяє проводити аналіз контрольно-діагностичних параметрів, відхилення яких від норми супроводжується зміною фізичних процесів в вузлах гідрогенератора і є характеристикою його технічного стану [3]. Результати аналізу дозволяють прогнозувати можливість виникнення дефекту, можливий варіант його розвитку, визначати ступінь ризику розвитку дефекту. Особливістю проведення такого аналізу є використання даних повітряного зазору між статором та ротором, отриманих за декілька обертів ротора.

Відомий спосіб визначення орбіти центра ротора (вала) з використанням датчиків параметрів вібрації статора обертової машини. При цьому для побудови орбіти необхідно мати сигнали з двох датчиків вібропереміщень або віброшвидкості, які встановлені на статорі під кутом  $90^0$  один до одного у вертикальній площині, перпендикулярній центральній осі вала [4].

Можливість використання датчиків вібрації або переміщень для побудови орбіти вала ґрунтується на тому факті, що при обертанні вал робить коливання/переміщення і, переміщення його центральної осі пропорційно цим коливанням/переміщенням. Ці коливання/переміщення викликають відповідну вібрацію статора.

Недоліком способу є те, що: по-перше, поширеність та номенклатура системи віброаналізаторів, що дозволяють синхронно проводити вимірювання по двох каналах, вельми обмежена; по-друге, при вимірюванні абсолютної вібрації необхідно враховувати анізотропність (різну жорсткість) опор або корпусу статора у вертикальному і поперечному напрямках, яка істотно впливає на вигляд орбіти.

В даній доповіді для визначення годографу ротора потужних генераторів пропонується використати систему з двох безконтактних ємнісних сенсорів повітряного зазору між статором та ротором в поєднанні з інформацією від сенсора кута повороту ротора [3,5].

З урахуванням [3,5] результати вимірювань повітряного зазору записуються можна записати у

вигляді системи функцій:

$$\begin{cases} S_{XG}(\theta) = f(d_{XG}, \theta) \\ S_{XV}(\theta) = f(d_{XV}, \theta - \varphi) \end{cases} \quad (1)$$

де  $d_{XG}$  – значення повітряного зазору в горизонтальній площині;  $\theta$  – кут повороту ротора;  $d_{XV}$  – значення повітряного зазору в вертикальній площині;  $\varphi$  – затримка реалізації сигналів  $S_{XG}(\theta)$  та  $S_{XV}(\theta)$  на кут  $90^\circ$ .

Використовуючи систему рівнянь (1) визначається крива другого порядку, яка відображає орбіту ротора (рис.1) та може бути представлена відповідною функцією:

$$S_{XV}(\theta) = f_{XV}(f_{XG}^{-1}(S_{XG}) - \varphi). \quad (2)$$

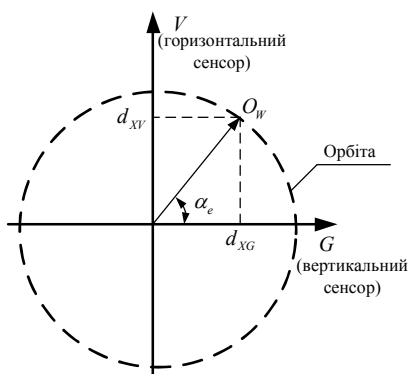


Рис. 1 Визначення траєкторії обертання вектора, що описує орбіту руху вала

Використовуючи функцію (2) отримують візуалізацію орбіти центру ротора розраховану за результатами вимірювання повітряного зазору для повного оберту ротора, яка в ідеальному випадку (без наявності дефектів) являє круговий рух вектора, як показано на рис.1. У випадку наявності дефектів функція (2) буде видозмінюватися від форми ідеального кола, приймаючи форму від ледь помітного спотворення кола до картини повного хаотичного руху. При наявності статичного ексцентриситету – форма При деяких видах механічних послаблень орбіта може сильно відрізнитися від еліптичної і мати вигляд хаотичного руху[2].

### Висновок

Запропонований спосіб визначення орбіти руху центру ротора потужних генераторів за результатами вимірювання повітряного зазору емнісними сенсорами, встановленими на розточенні осердя статора, може бути використаний для реалізації програмно-математичного забезпечення, що використовується в системах контролю та діагностики цих машин.

### Література

1. Sasic M. Using magnetic flux monitoring to detect hydrogenerator rotor winding insulation problems / M. Sasic, G. Stone, P.Rojas // HydroVision Brazil. –2011. Available: <https://irispower.com>
2. Диагностика оборудования по орбитам // Вибрационная диагностика.– 2006.– №02. – С. 34-35
3. Левицький А.С. Визначення функції перетворення емнісного сенсора повітряного зазору в гідрогенераторі СГК 538/160-70М/ А.С. Левицький, Є.О. Зайцев, Б.А Кромпляс // Пр. Ін-ту електродинаміки НАНУ : Зб. наук. пр. – К.: ІЕД НАНУ, 2016. – Вип.43. – С. 134–137.
4. Система автоматического построения орбиты вала в подшипнике скольжения / Е.Н.Ишметьев, Д.В.Чистяков, А.Н.Панов, Е.Э.Бодров // Современные научные исследования и инновации. – 2017. – № 5. Available: <http://web.snauka.ru/issues/2017/05/82682> (дата обращения: 14.01.2018).
5. Зайцев Е.А. Система контроля воздушного зазора гидрогенераторов / Е. А Зайцев, А. С. Левицкий , В. Е. Сидорчук // Приборы и методы измерений. – 2017. – Т.8, № 2. – С. 122–130.

### References

1. Sasic M. Using magnetic flux monitoring to detect hydrogenerator rotor winding insulation problems/ M. Sasic, G. Stone, P.Rojas //HydroVision Brazil. –2011. Available: <https://irispower.com>
2. Dyahnostyka oborudovanyya po orbytam//Vybratsyonnaya diahnostyka.– 2006.– №02. – С. 34-35
3. Levytskyi A. S. Vyznachennya funktsiyi peretvorennya yemnisnoho sensora povitryanoho zazoru v hidroheneratori S-HK 538/160-70M / A. S. Levytskyi, Y.O. Zaytsev, B. A Kromplyas // Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoyi akademiyi nauk Ukrainy. – 2016. – Vyp. 43. – S. 134–137.
4. Systema avtomatycheskoho postroyennya orbyty vala v podshyppyke skol'zhenyia / E.N.Yshmetev, D.V.Chystyakov, A.N.Panov, E.É.Bodrov // Sovremennye nauchnye yssledovanyya y ynnovatsyy. – 2017. – № 5. Available: <http://web.snauka.ru/issues/2017/05/82682> (data obrashchenyia: 14.01.2018).
5. Zaytsev E.A. Systema kontrolya vozdushnoho zazoru hydroheneratorov / E. A. Zaytsev, A. S. Levytskyi, Sydorshchuk V.E. // Prybory y metody yzmerenyu. – 2017. – T.8, № 2. – S. 122–130. DOI: 10.21122/2220-9506-2017-8-2-122-130T7.

## ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗРЕЗОНАНСНОГО КРІПІЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

*Анотація.* Проведено динамічне випробування діючого зразка радіоелектронної апаратури з використанням безрезонансного кріпильного пристрою та електрореологічної суспензії для фіксації випробовуваних виробів на столі вібростенда.

Представлено результати випробувань за даними вимірювань з яких видно, що використання безрезонансного кріпильного пристрою забезпечує повну передачу коливань стола вібростенда на випробовуваний об'єкт без спотворень коефіцієнта передачі механічних навантажень, що відповідає надійному кріпленню виробу та підвищує точність вібровипробувань.

*Ключові слова:* частота, коливання, вібрація, вимірювач вібрацій, акселерометр, безрезонансний кріпильний пристрій, електрореологічна суспензія.

V.A. MOROZ, V.P. ROYZMAN, O.K. YANOVYTSKYI, V.V. MISHAN

Khmelnitsky National University  
vik-moroz@ukr.net, royzman\_v@ukr.net

## DETERMINING THE EFFICIENCY OF USE WITHOUT RESONANCE DRIVER DEVICE

*Abstract.* A dynamic test of an active sample of a radio-electronic device with the use of a non-resonant fastening device and an electrorheological suspension for fixing the tested articles on the vibrostand table was conducted.

The efficiency of using a non-resonant fixing device with an electrorheological suspension during the testing of products of the electronic equipment is shown, which reflects that the time of replacement of the test product to another significantly decreases and amounts to a fraction of a second. Also, with the use of a non-resonant cube-shaped mounting device, you can increase the productivity of vibration testing by allowing you to vibrate the object's testing on the horizontal and vertical axes, and you can increase the efficiency of using such a fastening device by increasing the number of objects simultaneously tested on it. The electrostatic method of fixing with an electrospray suspension shows that it is not necessary to use fasteners in the form of bolts, studs, staples, clamps, which themselves have their own oscillation frequencies, that is, their resonance frequencies in the test frequency range. The use of the relayless fixing device allowed to reduce the errors of measurements of accelerations of the tested radio-electronic equipment during tests on vibration and impact. The results of the tests according to the measurements are presented, from which it is clear that the use of the non-resonant fastening device ensures the complete transfer of vibrations of the vibrostand table to the test object without distortion of the transfer coefficient of mechanical loads, which corresponds to the reliable fastening of the product and increases the accuracy of the vibratory tests.

*Key words:* frequency, oscillations, vibration, vibration meter, accelerometer, non-resonant fastening device, electrorheological suspension.

Для визначення ефективності використання безрезонансного кріпильного пристрою в ході проведення науково дослідної роботи № 4Б-2015 «Розвиток наукових та інженерних основ надійності електронної техніки шляхом удосконалення технології її тестування на вібрації та удари» було проведено випробування на механічні впливи (вібрації, удари) виробу РЕА з використанням електрореологічної суспензії та безрезонансних кріпильних пристроїв [1, 2].

Об'єктом дослідження було вибрано вузол керування ВАРУ дец. номер ААВФ.469555.011 N014 (рис. 1) який містить в собі друковану плату з елементами поверхневого монтажу. Габаритні розміри вузла – 97мм\*97мм\*20мм. Вага – 0,3 кг. При проведенні випробувань були використані нові технології випробувань РЕА, які захищені патентом України №110855 від 25.10.2016 р., що дозволяють використовувати безрезонансні кріпильні пристрої для закріплення РЕА на випробувальних стендах за допомогою електрореологічних суспензій [3, 4].



Рис. 1. Об'єкт дослідження

Для випробування блоку «Узел управління ВАРУ» дец. номер ААВФ.469555.011 N014 використовувалось наступне обладнання:

1. Вібростенд ВЕДС-200
2. Прилад УПУ-10
3. Акселерометр ADXL335
4. Персональний комп'ютер

Випробування проводилось наступним чином (рис. 2). На платформу столу вібростенда ВЕДС-200 в місце закріплення безрезонансного кріпильного пристрою наносилась електрореологічна суспензія. На неї встановлювався безрезонансний кріпильний пристрій, на який також наносилась електрореологічна суспензія. На цей пристрій встановлювався випробовуваний об'єкт - блок «Узел управління ВАРУ». На електроди безрезонансного кріпильного пристрою з приладу УПУ-10 подавалась висока напруга. Під дією високої напруги електрореологічна суспензія швидко переходила з рідкого стану в твердий при цьому міцно фіксуючи сам безрезонансний кріпильний пристрій на поверхні вібростолу, а випробовуваний виріб на поверхні безрезонансного кріпильного пристрою.

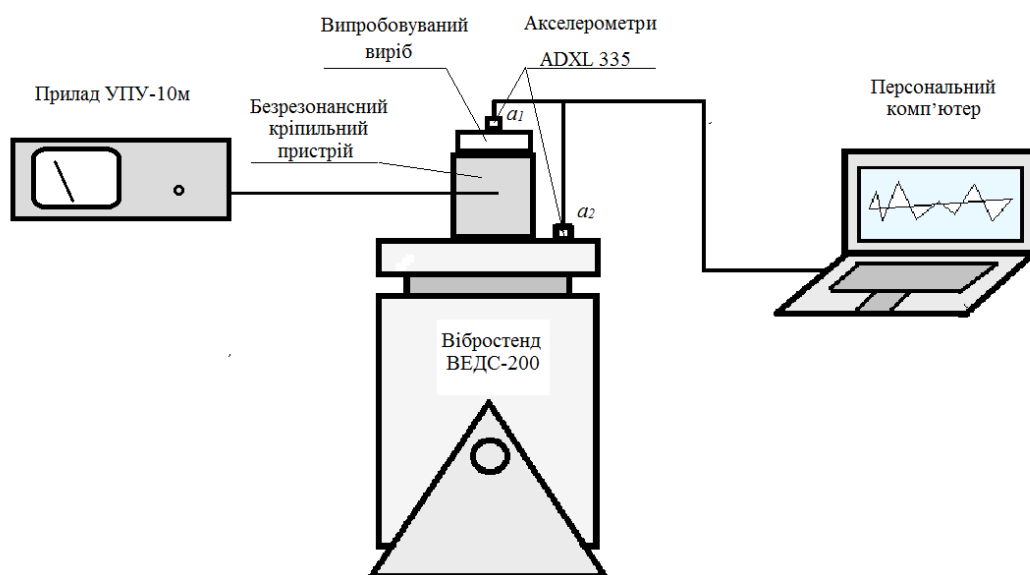


Рис. 2. Схема установки для проведення випробувань

Після закріплення випробовуваного об'єкта на платформі вібростолу, було прийнято рішення провести випробування блоку методом фіксованих частот. Для цього було встановлено два датчики акселерометри ADXL335. Один датчик встановлювався на платформі вібростолу біля безрезонансного кріпильного пристрою, другий – безпосередньо на самому випробовуваному блоці. Сигнали з цих датчиків надходили на персональний комп'ютер на якому встановлене спеціальне програмне забезпечення що дозволяє сигнал з датчиків відображати на екрані монітора.

Результати випробувань наведені в таблиці 1.

Як видно з таблиці сигнали прискорень з датчиків повністю збігаються, що означає що за допомогою використання безрезонансного кріпильного пристрою вдається передати вібрації від платформи вібростолу до випробовуваного об'єкта без спотворень, тобто в масштабі 1:1.

Таблиця 1

Датчик, прискорення	Частота $f$ , Гц								
	10	20	30	50	70	100	150	300	500
$a_1, g$	2,74	2,81	2,89	3,00	2,46	1,83	1,56	1,37	1,17
$a_2, g$	2,74	2,81	2,89	3,00	2,46	1,83	1,56	1,37	1,17

Це дозволило зменшити похибки вимірювань прискорень випробовуваної РЕА при випробуваннях на вібрації та удари.

Використання безрезонансного кріпильного пристрою забезпечує повну передачу коливань стола вібростенда на випробовуваний об'єкт без спотворень коефіцієнта передачі механічних навантажень, що відповідає надійному кріпленню виробу та підвищує точність вібровипробувань.

Непотрібно використовувати кріпильні пристрої у формі болтів, шпильок, скоб, струбцин, які самі

---

мали частоти власних коливань тобто свої резонансні частоти в випробовуваному діапазоні частот.

За допомогою електрореологічного способу кріплення випробовуваних об'єктів однією з важливих переваг є те, що значно зменшується час заміни одного такого випробовуваного виробу на інший так як час фіксації такого виробу після подачі напруги на електроди становить доли секунди. Для цього необхідно тільки зняти напругу з електродів безрезонансного кріпильного пристрою, зняти випробовуваний виріб, а на його місце встановити інший, попередньо змастивши його суспензією та подати напругу знову.

При використанні безрезонансного кріпильного пристрою у формі куба можна підвищити продуктивність вібровипробувань за рахунок можливості проводити вібровипробування об'єкта по горизонтальній і вертикальній його осях, а також можна збільшити ефективність використання такого кріпильного пристрою за рахунок збільшення кількості одночасно випробовуваних на ньому об'єктів.

### Література

1. Ройзман В. П. Монографія. Механіка в електроніці. В 3 т. Т. 2. Динамічна міцність / В. П. Ройзман. – Хмельницький : ХНУ, 2015. – 313 с.
2. Мороз В. А. Побудова простих вимірювачів вібрацій / В. А. Мороз, В. П. Ройзман, О. К. Яновичкий // Матеріали сімнадцятої міжнародної науково-технічної конференції «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» (ВОТТП-17-2017): зб. наук. праць – Одеса, 8-13 червня 2017р. – С.59.
3. Патент на корисну модель №110855. Україна, МПК Н 02 N 13/00. Електростатичний кріпильний пристрій зі струмопровідною основою. Ройзман В.П. (UA), Мороз В.А. (UA), Коробко С.В. (BY), Кузьмін В.А. (BY), Коробко А.О. (BY); власник Хмельницький національний університет. – № u201603571 ; заявл. 04.04.2016; опубл. 25.10.2016. Бюл. №20 – 6 с.
4. Коробко Е. В. Электроструктурирующиеся дисперсии наноразмерных наполнителей для создания адаптивных композитов / Е. В. Коробко, А. П. Достанко, А. О. Коробко, В. П. Ройзман, З. А. Новикова, Н. А. Журавский, А. И. Глоба // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies. – 2011, – т. 9, № 3, – С. 569—581

### References

1. Royzman V. P. Monografii. Mekhanyka v elektroniky. V 3 t. T. 2. Dynamycheskaia prochnost / V. P. Royzman. – Khmelnytskyi : KhNU, 2015. – 313 s.
2. Moroz V. A. Construct a simple vibration meter / V. A. Moroz, V. P. Royzman, O. K. Yanovytskyi // Materialy simnadtsiatoi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh» (VOTTP-17-2017): zb. nauk. prats – Odesa, 8-13 chervnia 2017r. – S.59.
3. Patent na korysnu model №110855. Ukraina, MPK H 02 N 13/00. Elektrostatychnyi kripylnyi prystrii zi strumoprovodnoiu osnovoio. Roizman V.P. (UA), Moroz V.A. (UA), Korobko Ye.V. (BY), Kuzmin V.A. (BY), Korobko A.O. (BY); vlasnyk Khmelnytskyi natsionalnyi universytet. – № u201603571 ; zaiavl. 04.04.2016; opubl. 25.10.2016. Biul. №20 – 6 s.
4. Korobko E. V. Elektrostrukturyruishchyesia dyspersyy nanorazmernykh napolnytelei dlia sozdanyia adaptyvnykh kompozytov / E. V. Korobko, A. P. Dostanko, A. O. Korobko, V. P. Royman, Z. A. Novykova, N. A. Zhuravskiy, A. Y. Hloba // Nanosystemy, nanomaterialy, nanotekhnolohii. Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies. – 2011, – t. 9, № 3, – S. 569—581



**МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ  
ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН**

*Аннотация* Волоконно-оптическая связь в настоящее время является наиболее быстро развивающейся областью телекоммуникаций. Основой для нее является оптическое волокно, способное обеспечить информационно-пропускную способность, превышающую десятки терабайт в секунду. Процесс изготовления волоконного световода является сложным технологическим процессом, требующим применения высокоточного оборудования.

*Предложен метод определения показателя преломления для заготовки сердцевинки оптического волокна с использованием принципов явления рассеяния света. При разработке метода использовались принципы квантовой электродинамики, в соответствии с которыми световой поток, направляемый на исследуемый объект, представляет собой набор дискретных образований – световых квантов. Процесс измерения заключается в определении индикатрисы рассеяния для заготовки сердцевинки волокна. Показано, что индикатриса рассеяния однозначно определяет значение показателя преломления. Измерения, построенные на принципах явления рассеяния, позволяют значительно расширить диапазон измеряемых значений показателя преломления при сохранении достаточной точности, определяемой точностью угловых измерений. Это особенно актуально для измерения параметров оптических волокон и других устройств, созданных на базе технологии фотонных кристаллов и нанотехнологий.*

*Ключевые слова:* показатель преломления, оптическое волокно, индикатриса рассеяния, сердцевина

KUNAKH N., KHARLAY L., KONOVALOV O., NIKIFORENKO K., SOTNICHENKO YU.,  
MATYUSHICHEV YU.

Odessa national academy of telecommunication a.n. O.S. Popov  
Lharlay@i.ua

**METHOD OF MEASURING THE REFRACTIVE INDEX IN THE PRODUCTION OF OPTICAL FIBERS**

*Abstract* Fiber-optic communication is currently the fastest growing area of telecommunications. The basis for it is an optical fiber capable of providing information capacity exceeding tens of terabytes per second. The process of manufacturing a fiber light guide is a complex technological process that requires the use of high-precision equipment. The main constructive element of the optical fiber is its core. At the same time, the refractive indices of the core of a fiber light guide are determined by the refractive indices of its preform. A high level of stability of the refractive index in the production of optical fiber is determined by high requirements to the level of losses at the joints of optical fibers, which in turn are determined by the difference in the numerical apertures and the refractive indices of the cores of the fibers to be joined.

*A method for determination of the refractive index of the optical fiber preform using the principles of light scattering phenomena is proposed. When developing the method, the principles of quantum electrodynamics were used, in accordance with which the light flux directed to the object under study is a set of discrete formations - light quanta. The measurement process means determination of the scattering function for the preform of the fiber core. It is shown that the indicatrix of scattering uniquely determines the value of the refractive index. Measurements based on the scattering phenomenon allow us to significantly expand the range of measured values of the refractive index while maintaining sufficient accuracy, determined by the accuracy of the angular measurements. This is especially true for measuring the parameters of optical fibers and other devices based on the technology of photonic crystals and nanotechnologies.*

*Keywords:* refractive index, optical fiber, scattering indicatrix, core

Волоконно-оптическая связь в настоящее время является наиболее быстро развивающейся областью телекоммуникаций. Основой для нее является оптическое волокно, способное обеспечить информационно-пропускную способность, превышающую десятки терабайт в секунду. Процесс изготовления волоконного световода является сложным технологическим процессом, требующим применения высокоточного оборудования. Волоконные световоды обычно изготавливаются в ходе ряда технологических операций, требующих постоянного контроля параметров для обеспечения их стабильности и повторяемости [1].

Основными методами измерения показателя преломления или рефрактометрии являются: методы прямого измерения углов преломления света при прохождении им границы раздела двух сред; методы, основанные на явлении полного внутреннего отражения; интерференционные методы [2].

Измерения по этим методам требуют потерь заготовки в массе и затрат на проведение обработки материала. Кроме того, некоторые из них неприменимы для проведения измерений параметров твердотельной заготовки.

Кроме того, существующие рефрактометры позволяют определять значение показателя преломления в сравнительно небольшом диапазоне величин – от 1,4 до 2,1 (для простых конструкций) и от 1,2 до 2,8 (при наличии ряда сменных блоков) [3]. В то же время создаются новые виды синтетических материалов (в том числе фотонные кристаллы), показатели преломления которых могут выходить за пределы измерения существующих приборов.

Таким образом, для обеспечения контроля технологического процесса производства оптического волокна на ранних этапах, необходимо применение метода измерения его оптических параметров с учетом

вышеприведенных замечаний.

С этой целью в работе был предложен метод, основанный на явлении рассеяния света [2]. При разработке метода использовались принципы квантовой электродинамики, в соответствии с которыми световой поток, направляемый на исследуемый объект, представляет собой набор дискретных образований – световых квантов. Значение коэффициента отражения света на границе раздела двух оптических сред при этом представляет собой вероятность отражения кванта от границы раздела [4]. Индикатриса рассеяния, полученная в результате процесса рассеяния для объекта с конкретной геометрией и значением показателя преломления, однозначно определяет показатель преломления исследуемого объекта.

Этим объектом в работе являлся оптический цилиндрический элемент, который моделировал заготовку сердцевинки оптического волокна, обладающую цилиндрической формой. Как правило, для заготовок сердцевинки оптических волокон выполняется соотношение:  $D \gg \lambda$ , где  $D$  – диаметр заготовки, а  $\lambda$  – длина световой волны. Дифракционные явления в этом случае не учитывались, и моделирование рассеяния света проводилось в соответствии с законами геометрической оптики. В этом приближении поведение падающего на оптический элемент света полностью описывается соотношениями геометрической оптики – прямолинейным распространением света в однородной среде, законом Снеллиуса и формулами Френеля [5].

Предполагалось также, что показатель преломления сохраняет постоянное значение в пределах всей заготовки, что соответствует сердцевинке со ступенчатым профилем показателя преломления.

В качестве входного потока был рассмотрен некогерентный поток поляризованного света в виде параллельных лучей (квантов), падающих на боковую поверхность цилиндра. Вектор электрического поля световых квантов считался параллельным оси цилиндра. В этом случае коэффициент отражения на границе раздела двух сред  $C_R$  описывается выражением, полученным в соответствии с [5]:

$$C_R = \frac{n_1^2 \cos 2\theta - 2n_1^2 \cos \theta \sqrt{(n_2/n_1)^2 - \sin^2 \theta} + n_2^2}{n_1^2 \cos 2\theta + 2n_1^2 \cos \theta \sqrt{(n_2/n_1)^2 - \sin^2 \theta} + n_2^2},$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – показатели преломления воздуха и стекла соответственно,  $\theta$  – угол падения луча на поверхность цилиндра. Потери в материале оптического цилиндра считались пренебрежимо малыми, так что эффект поглощения квантов не учитывался. Значение коэффициента отражения света на границе раздела двух оптических сред при этом представляет собой, согласно принципам квантовой электродинамики, вероятность отражения кванта от границы раздела [5]. С учетом этого, процесс распространения кванта в пределах оптического элемента рассчитывался с помощью метода Монте-Карло [6]. При пересечении траекторией кванта границы оптического элемента производился расчет коэффициента отражения от границы раздела с учетом угла падения  $\theta$  в соответствии с соотношением, приведенным выше. После чего, в результате опроса генератора случайных чисел, включаемого при каждом пересечении траекторией кванта границы раздела: оптический элемент – воздух, определялся дальнейший вариант направления движения кванта (отражение от границы раздела либо прохождение ее). Если значение числа, сформированного генератором случайных чисел, не превышало величины коэффициента отражения, на границе раздела имело место явление отражения. В противном случае квант проходил через границу раздела. Распределение квантов в падающем на оптический элемент потоке предполагалось равномерным. При выходе кванта за пределы цилиндрического элемента фиксировалось значение угла рассеяния кванта по отношению к направлению входящего потока. Индикатриса рассеяния представляла собой угловое распределение интенсивности, нормированное к максимальному ее значению. Максимальная разрешающая способность программы для расчета индикатрисы рассеяния составляла один угловой градус.

С помощью указанного метода были проведены расчеты индикатрисы рассеяния при различных значениях показателя преломления оптического элемента. В частности были проведены расчеты индикатрисы рассеяния в окрестности значения показателя преломления, равного 1,46, как такого, что характеризует кварцевое стекло.

На рис.1 изображена индикатриса рассеяния оптического цилиндрического элемента с показателем преломления  $n = 1,458$ . Направление входных лучей совпадает с направлением оси  $x$ . Как видно из индикатрисы, ей присущи четыре пика интенсивности рассеяния, расположенные симметрично относительно оси  $x$  под углом  $\varphi_1 = \pm 100^\circ$  и под углом  $\varphi_2 = \pm 155^\circ$ . Нормированные значения интенсивности этих пиков составляют 0,62 и 1,0 соответственно.

При уменьшении показателя преломления угол  $\varphi_1$  увеличивался, а угол  $\varphi_2$  соответственно уменьшался. Таким образом, этим параметрам оказались свойственны угловые дисперсионные характеристики по отношению к показателю преломления  $n$ . Эти характеристики отражает величина производной  $\partial\varphi/\partial n$ , которая составляет для первого пика - 3,49 радиан, а для второго - 1,745 радиан, то есть в два раза меньше. Численно эти величины отражают угловое (в радианах) смещение пика, при изменении показателя преломления на единицу и определяют чувствительность метода по изменению показателя преломления  $n$ .

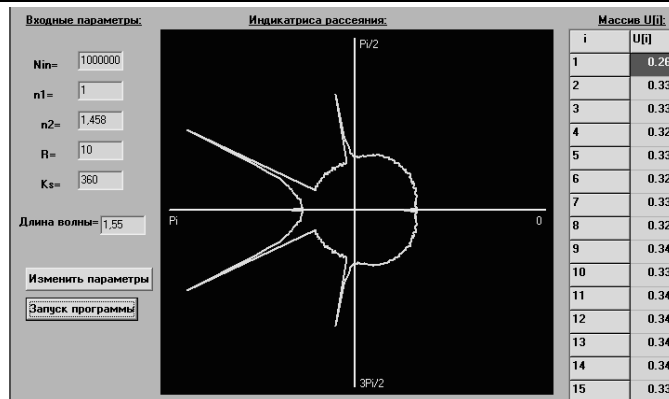


Рис.2 - Индикатриса рассеяния цилиндрического элемента из кварцевого стекла

Полученные результаты свидетельствуют о возможности определения показателя преломления оптического цилиндрического элемента согласно виду его индикатрисы рассеяния и угловому положению пиков индикатрисы.

С целью проверки результатов моделирования цилиндрического оптического элемента, выполненного из кварцевого стекла ( $\text{SiO}_2$ ), было проведено экспериментальное исследование индикатрисы рассеяния кварцевого стержня цилиндрической формы. Результаты экспериментального исследования индикатрисы рассеяния изложены в [7]. В этой работе получено экспериментальное подтверждение результатов теоретических расчетов индикатрисы рассеяния цилиндрического оптического элемента, выполненного из кварцевого стекла.

Таким образом, результаты моделирования процесса рассеяния света в оптическом цилиндрическом элементе и экспериментальные данные подтверждают возможность определения показателя преломления элемента. Полученные данные могут быть использованы при управлении технологическим процессом изготовления оптического волокна.

Результаты исследования явления рассеяния на примере оптического цилиндрического элемента показали возможность определения показателя преломления заготовки для производства оптического волокна. Это позволяет управлять технологическим процессом его изготовления, и производить в необходимых случаях коррекцию процесса. При этом вид индикатрисы рассеяния позволяет однозначно определить значение показателя преломления заготовки цилиндрической формы.

Кроме того, измерения, построенные на принципах явления рассеяния, позволяют значительно расширить диапазон измеряемых значений показателя преломления при сохранении достаточной точности, определяемой точностью угловых измерений. Это особенно актуально для измерения параметров оптических волокон и других устройств, созданных на базе технологии фотонных кристаллов и нанотехнологий.

### Литература

1. Mahlke G., Gossing P. Fiber Optic Cables (Fundamentals, Cable Design, System Planning), 4<sup>th</sup> edition, 2001, MCD Corporate Publishing
2. Физический энциклопедический словарь / А.М. Прохоров и др.– М.: Сов. энциклопедия, 1984. – 944 с.
3. Иоффе Б.В. Рефрактометрические методы химии. 3-е изд., перераб., Л.: Химия, 1983. – 352 с.
4. Richard P. Feynman, QED – The strange theory of light and matter. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1985.
5. M. Born, E. Wolf. Principles of optics. Pergamon Press. Oxford, London, Edinburgh, New York, 1965.
6. Katok V.B., Manko V.A., Manko A.A. New Method of Quantitative Modelling of Fiber Filters on Thin Films // Proc. 7<sup>th</sup> International Conf. on Transparent Optic “ICTON 2005”( July 3-7, 2005). – Barcelona (Spain), 2005. – P.444-446.
7. Сукач Г.О., Манько В.О., Манько О.О. Дослідження оптичних спектрально-селективних елементів, що використовують ефект розсіювання світла // Зв'язок. – №7-8. – 2008. – С. 33-35.

### References

1. Mahlke G., Gossing P. Fiber Optic Cables (Fundamentals, Cable Design, System Planning), 4<sup>th</sup> edition, 2001, MCD Corporate Publishing
2. Fizicheskiy entsiklopedicheskiy slovar / A.M. Prohorov i dr.– M.: Sov. entsiklopediya, 1984. – 944 s.
3. Ioffe B.V. Refraktometricheskie metodyi himii. 3-e izd., pererab., L.: Himiya, 1983. – 352 s.
4. Richard P. Feynman, QED – The strange theory of light and matter. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1985.
5. M. Born, E. Wolf. Principles of optics. Pergamon Press. Oxford, London, Edinburgh, New York, 1965.
6. Katok V.B., Manko V.A., Manko A.A. New Method of Quantitative Modelling of Fiber Filters on Thin Films // Proc. 7<sup>th</sup> International Conf. on Transparent Optic “ICTON 2005”( July 3-7, 2005). – Barcelona (Spain), 2005. – P.444-446.
7. Sukach G.O., Manko V.O., Manko O.O. Doslidzhennya optichnih spektralno-selektivnih elementiv, scho vikoristovuyut efekt rozsiyuvannya svitla // Zv'yazok. – #7-8. – 2008. – S. 33-35.

**К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ПОДАЧИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ШТОКА ПРИ НАКАТЫВАНИИ РОЛИКОМ**

*Аннотация.* В работе представлены исследования влияния подачи ролика на шероховатость поверхности вала. Анализ зависимостей шероховатости обкатанных поверхностей  $R_a$  от подачи показывает, что зависимость является нелинейной, шероховатость поверхности зависит от ширины ролика, при одинаковых условиях обработки шероховатость штоков из стали 30X обработанных роликами шириной 6 мм на 15-25% больше обработанных роликами шириной 4 мм.

*Ключевые слова:* шероховатость, поверхностное пластическое деформирование, подача.

**V.V.STRELBITSKIY, O.S. TOGAN**Odessa national polytechnic university, Odessa  
strelbitsky.v.v@opu.ua**TO THE QUESTION THE INFLUENCE OF THE FEED ON THE ROUGHNESS OF THE SHAFT THE ROLL BURNISHING**

*Annotation.* Determination of optimal cutting conditions is one of the most important technical and economic tasks of modern engineering, since the performance properties of these products depend on the quality of the surface layer of individual parts and assemblies, the latter forming at the finishing operations of processing [1-4].

Therefore, the problem of technological quality assurance of the surface layer of parts is an urgent task.

In modern engineering in developed countries, the methods of surface plastic deformation (PPD) are widely used in the manufacture of products, which allow combining low roughness, hardening of the surface layer, high efficiency and simplicity of the technological process practically in any production conditions [1-4]. The purpose of the study was to study the effect of roller feeding on the surface roughness of the rod.

In the experiment, preliminarily ground samples were examined, in an amount of 10 pcs. 30 mm in diameter, of steel 30X, the roughness of the surfaces of which was the same and was  $R_a = 2.5 \mu\text{m}$ . The rollers of width 4 and 6 mm were installed in the toolholder of the machine in such a way that its axis was at the height of the centers of the machine and was perpendicular to it, and the rear angle between the surfaces of the roller and the shaft was  $2^\circ$ .

To determine the effect of roller feeding on the roughness of its surface with an effort - pressing the tool against the rolling surface  $P = 700 \text{ N}$ , the rolling speed  $V = 100 \text{ (m / min)}$ , using coolant - industrial oil, depth  $t = 0.2 \text{ mm}$ , with the following The feed values are  $S = 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4 \text{ mm / vol}$ . The surfaces of the shafts were rolled in rollers in one pass. The force of rolling was determined by the transverse movement of the support of the machine (roller) along the limb, its value was set according to the calibration diagrams of rolling of 30X steel with cylindrical rollers 4 and 6 mm wide.

Analysis of the dependence of the roughness of the rolled  $R_a$  surfaces on the feed shows that the dependence is nonlinear, the surface roughness depends on the width of the roller, under the same machining conditions, the roughness of the 30X steel rods treated with rollers 6 mm wide is 15-25% larger than the 4 mm-wide rolls treated.

*Keywords:* roughness, surface plastic deformation, feed.

Определение оптимальных режимов резания является одной из важнейших технико-экономических задач современного машиностроения, поскольку эксплуатационные свойства указанных изделий зависят от качества поверхностного слоя отдельных деталей и узлов, причем формирование последнего происходит на финишных операциях обработки [1-4].

Поэтому проблема технологического обеспечения качества поверхностного слоя деталей является актуальной задачей.

В современном машиностроении развитых стран при производстве изделий находят широкое применение методы поверхностного пластического деформирования (ППД), которые позволяют сочетать низкую шероховатость, упрочнение поверхностного слоя, высокую экономичность и простоту осуществления технологического процесса практически в любых производственных условиях [1-4].

Целью исследования изучение влияния подачи ролика на шероховатость поверхности штока.

В эксперименте были исследованы предварительно обточенные образцы, в количестве 10 шт. диаметром 30мм, из стали 30X, шероховатость поверхностей которых была одинакова и составляла  $R_a = 2,5 \text{ мкм}$ .

Роликовый накатник шириной 4 и 6 мм устанавливали в резцедержатель станка таким образом, чтобы его ось находилась на высоте центров станка и была ей перпендикулярна, а задний угол между поверхностями ролика и вала составлял  $2^\circ$ .

Для определения влияния подачи ролика на шероховатость его поверхности при усилии - прижатия инструмента к обкатываемой поверхности  $P = 700 \text{ Н}$ , скорость обкатывания  $V = 100 \text{ (м/мин)}$ , с применением СОЖ - индустриального масла, глубине  $t = 0,2 \text{ мм}$ , при следующих значениях подач -  $S = 0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,25, 0,3, 0,4 \text{ мм/об}$ . Поверхности валов обкатывались роликами в один проход. Усилие обкатывания задавалось поперечным перемещением суппорта станка (ролика) по лимбу, его величина

устанавливалась по тарифовочным графикам накатывания стали 30X цилиндрическими роликами шириной 4 и 6 мм.

По завершению цикла обработки на каждой из скоростей штоки снимали, измеряли шероховатости обкатанных поверхностей вала в трех различных местах с помощью профилометра «Surtronic 10 Ra Surface Tester», позволяющий определяет средние значения шероховатости поверхности с точностью до 0,1 мкм. Опыты повторяли трижды для каждого усилия, результаты усредняли.

Полученные зависимости шероховатости Ra поверхности штока от величин подач ролика шириной 4 и 6 мм. представлены на рис.1.

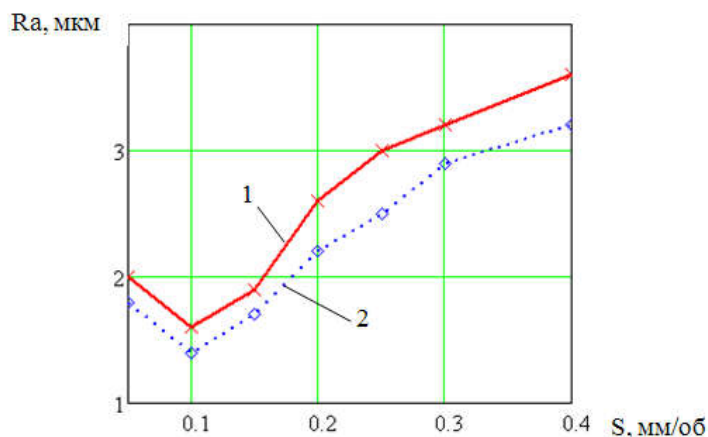


Рис. 1. Зависимость шероховатости поверхности Ra от подачи S ролика при обработке штоков из сталей 30X, при ширине ролика 6мм (1) и 4 мм (2)

Анализ зависимостей шероховатости обкатанных поверхностей Ra от подачи показывает, что:

- 1) зависимость шероховатости Ra от подачи ролика является нелинейной.
- 2) шероховатость поверхности зависит от ширины ролика, при одинаковых условиях обработки шероховатость штоков из стали 30X обработанных роликами шириной 6 мм на 15-25% больше обработанных роликами шириной 4 мм.

### Выводы

Подача ролика является основным фактором, определяющим качество обработки, при обоснованном выборе режимов обработки и геометрических размеров ролика.

При одинаковых условиях обработки шероховатость штоков из стали 30X с уменьшением ширины ролика значение шероховатости спадает до определенного предела, далее - возрастает.

### Литература

1. Бабичев А.П. Применение вибрационных технологий для повышения качества поверхности и эксплуатационных свойств деталей / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренкой др. - Ростов на Д: Издательский центр ДГТУ, 2006. – 215 с.
2. Стрельбицкий В.В. Исследование влияния геометрических параметров среды на шероховатость поверхности при виброобработке / В.В. Стрельбицкий // Матеріали XV міжнародної науково-практичної конференції “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” (ВОТТП-15-2015): сб. наук. пр. – Одеса, 10-14 вересня 2015 р. – С.35.
3. Стрельбицкий В. В. Определение влияния усилий деформирования на шероховатость поверхности вала при накатывании роликом / Я. Е. Сурков // Вимірюв. та обчислюв. техніка в технол. процесах : матеріали XVII міжнар. наук.-практ. конф., Одеса, 8-13 черв. 2017 р. – Одеса, 2017. - С. 51-52.
4. Оргиян А.А. Влияние режимов обкатывания роликом на формирование шероховатости поверхности / А.А. Оргиян, В. В. Стрельбицкий // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. - №1. – С. 224 – 227.

### References

1. Babichev A.P. Primenenie vibracionnyh tehnologij dlja povyshenija kachestva poverhnosti i jekspluatacionnyh svojstv detalej / A.P. Babichev, P.D. Motrenkoi dr. - Rostov na D: Izdatel'skij centr DGTU, 2006. – 215 s.
2. Strel'bickij V.V. Issledovanie vlijaniya geometricheskikh parametrov sredy na sherohovatost' poverhnosti pri vibroobrabotke / V.V. Strel'bickij // Materiali XV mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencії “Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnih procesah” (VOTTP-15-2015): sb. nauk. pr. – Odesa, 10-14 veresnja 2015 r. – S.35.
3. Strel'bickij V. V. Opredelenie vlijaniya usilij deformirovanija na sherohovatost' poverhnosti vala pri nakatyvannii rolikom / Ja. E. Surkov // Vimirjuv. ta obchisljuv. tehnika v технол. procesah : materialy XVII mizhnar. nauk.-prakt. конф., Odesa, 8-13 cherv. 2017 r. – Odesa, 2017. - S. 51-52.
4. Orgijan A.A. Vlijanie rezhimov obkatyvannija rolikom na formirovanie sherohovatosti poverhnosti / A.A. Orgijan, V. V. Strel'bickij // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu. Tehnichni nauki. – 2018. - №1. – S. 224 – 227.

## ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ВОЛЮМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

*Розглянуто можливість дослідження швидкості хімічної реакції металізації полімерів волюметричним методом. Розроблено конструкцію пристрою, яка дозволяє проводити дослідження швидкості реакції в автоматичному режимі.*

*Ключові слова: кінетика реакції, об'єм газу, напруга, автоматизація, Arduino Mega*

V.S. MORAVSKYI, A.M. KUCHERENKO, L. DULEBOVA, I. GAJDOS  
Lviv Polytechnic National University, Technical University of Kosice (Slovak Republic)  
vmoravsky@gmail.com

## DEVICE FOR VOLUMETRIC RESEARCH

*Annotation – The device which allows automating the process of studying of the kinetics of reaction of chemical metallization of polymers has been developed. The essence of the proposed method is to measure the change of the level of fluid, which is displaced from the measuring burette by gas. To fix of position of the fluid and its change in the burette measurements of the voltage change in conductors that are connected through the surface of the liquid which creates contact between conductors are used.*

*The design of the device involves the use of two measuring burettes, which are connected according to a scheme with using electromagnetic valves.*

*When closing the first pair of valves, the gas enters into the gas volume of the first measuring burette and displacing the water. When reaching in the first measuring burette of the set gas volume, the first pair of valves opens and simultaneously closes the second pair of valves. The gas from the reaction volume enters into the gas volume of the second measuring burette. After switching the valves, the gas volume of the first measuring burette is connected to the atmosphere. This ensures the return of displacement of the water volume and the establishment of the entry level water. After reaching the specified volume of gas in the second measuring burette, the valves are switched again. The gas volume of the second burette is connected to the atmosphere for setting the initial water level. At the same time, the gas volume of the second burette is connected to the atmosphere for setting the initial water level. The continuous connection of measurement burettes with the reactive volume and atmosphere provides continuous measurements of any amount of gas.*

*The control scheme of the developed device is based on the Arduino Mega 2560 Rev3. An analog-to-digital converter on an ADS1115 chip is used to measure voltage. The initial control parameters that must be specified for the operation of the device are the voltage in the measuring burettes, which corresponds to the initial volume of gas and the voltage corresponding to the volume of gas in which the switching of the valves. The obtained values of the voltage with the ADC are scaled according to the volume of measuring burettes and recorded as a function of the volume of the isolated gas from the time of the experiment.*

*Keywords: reaction kinetics, volume of gas, voltage, automation, Arduino Mega*

Проблема організації наукових досліджень швидкості хімічних реакцій полягає в необхідності залучення кваліфікованого персоналу і значних затратах часу, що викликано використанням методів, які в своїй більшості важко автоматизувати. В зв'язку з цим впровадження автоматизованих методів дослідження кінетичних закономірностей хімічних реакцій є актуальним науково-технічним завданням, яке дозволить вирішити ряд важливих проблем. До перспективних методів досліджень можна віднести волюметричні методи, які ґрунтуються на вимірюванні об'єму газу, який виділяється в результаті хімічної реакції і який можна використати для оцінки швидкості утворення або витрати цільового продукту. Нами досліджувалась система, що складається з розчину хімічної металізації і активованої полімерної сировини, яка використовується для одержання високотехнологічних металонаповнених полімерних композитів [1, 2]. Цільовим продуктом в даному випадку є метал, який відновлюється в розчині хімічної металізації і покриває активовану полімерну сировину. Побічним продуктом відновлення металу в розчині хімічної металізації є водень, який виділяється в стехіометричній кількості, що можна використати для оцінки кількості і швидкості утворення цільового продукту.

Існуючі методи дослідження об'єму газу переважно ґрунтуються на вимірюванні швидкості потоку газу. Такі методи дозволяють легко автоматизувати процес вимірювання у випадку значних об'ємів газу і є важкорезалізованими за незначної об'ємної витрати газу, що має місце при лабораторних дослідженнях. В даному випадку методи, що ґрунтуються на вимірюванні швидкості газових потоків є мало ефективними і необхідно шукати інші методи. Оптимальними можна вважати методи, що ґрунтуються на безпосередньому вимірюванні об'єму газу, які дозволяють реалізувати можливість фіксації навіть незначних об'ємів газу.

Суть запропонованого волюметричного методу полягає у вимірюванні зміни рівня рідини, яка витісняється з бюретки газом. Для фіксації положення рідини і його зміни в бюретці використано вимірювання зміни напруги у провідниках, які з'єднуються через стовп рідини. Поверхня рідини, яка використовується для фіксації об'єму газу в бюретці також створює контакт між двома провідниками з великим питомим електричним опором, вимірювання напруги між якими лежить в основі визначення об'єму рідини який витіснив газ. Схема пристрою з одною вимірювальною бюреткою не є універсальною і не може бути використана для вимірювання різних об'ємів газу, оскільки вимагає використання бюреток різного

об'єму. Для підвищення універсальності пристрою використано дві вимірювальні бюретки, які з'єднані за певною схемою, з використанням електромагнітних клапанів (рис.).

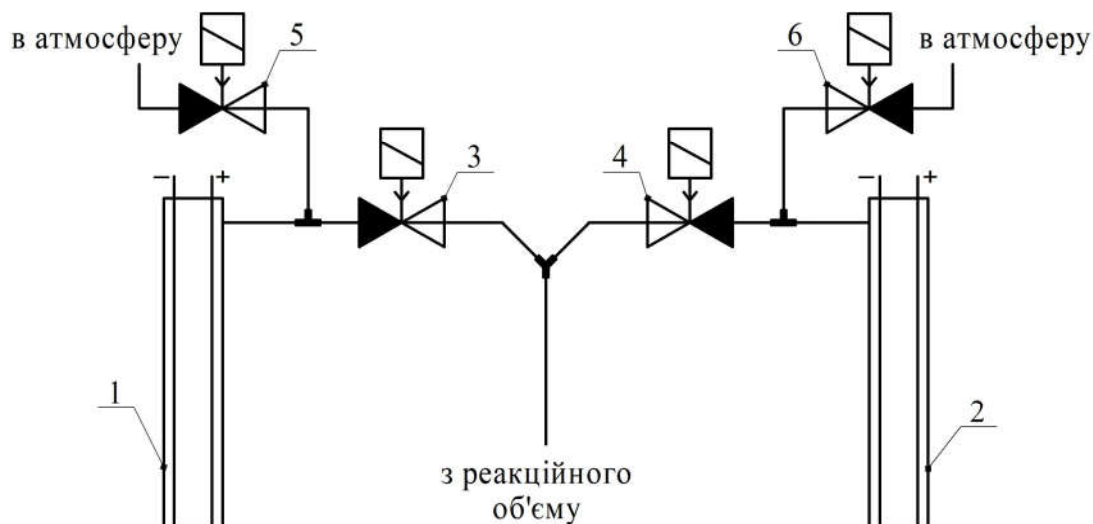


Рис.1. Схема з'єднання реакційного об'єму з вимірювальними бюретками  
1, 2 – вимірювальні бюретки; 3 – 6 – електромагнітний клапан

Пристрій працює наступним чином. З реакційного об'єму газ по чергові попадає в одну з двох вимірювальних бюретонок в результаті одночасного закриття пари клапанів. При закритті клапанів 4 і 5 газ з реакційного об'єму поступає в газовий об'єм вимірювальної бюретки 1, а витіснений газом об'єм води, з вимірювальної бюретки, поступає у зрівноважувальну грушу (на схемі не показана). В цей час газовий об'єм вимірювальної бюретки 2 з'єднаний з атмосферою. При досягненні у вимірювальній бюретці 1 встановленого об'єму газу клапани 4 та 5 відкриваються і клапани 3 та 6 закриваються. Газ з реакційного об'єму поступає в газовий об'єм вимірювальної бюретки 2, а витіснений газом об'єм води поступає у зрівноважувальну грушу. Після перемикавання клапанів, газовий об'єм вимірювальної бюретки 1 з'єднується з атмосферою, в результаті чого витіснений об'єм води з зрівноважувальної груші назад поступає у вимірювальну бюретку 1, встановлюючи початковий рівень води. Після досягнення у вимірювальній бюретці 2 заданого об'єму газу, клапани знову перемикаються, при цьому газовий об'єм бюретки 2 з'єднується з атмосферою, в результаті чого витіснений об'єм води з зрівноважувальної груші назад поступає в бюретку 2, встановлюючи рівень на початковому рівні. По черговим з'єднанням вимірювальних бюретонок 1 і 2 з реакційним об'ємом та атмосферою можна забезпечити безперервне вимірювання будь-якої кількості газу.

Схема керування розробленого пристрою побудована на Arduino Mega 2560 Rev3. Для вимірювання напруги використано 4 - каналний 16 - бітний аналого-цифровий перетворювач на мікросхемі ADS1115. Початковими контрольними параметрами, які необхідно задати для роботи пристрою є напруга у вимірювальних бюретках, що відповідає початковому об'єму газу і напруга, що відповідає об'єму газу за якого відбувається перемикавання клапанів. Одержані значення напруги з АЦП масштабуються у відповідності з об'ємом використаних вимірювальних бюретонок і записуються на SD карту як функція об'єму виділеного газу від часу досліду.

Таким чином, використання розробленого пристрою дозволяє автоматизувати процес дослідження кінетики хімічної металізації полімерної сировини, а також підвищити універсальність і точність вимірювань, в тому числі і малих об'ємі газу.

## References

1. Moravskiy V., Dziaman I., Suberliak S., Kuznetsova M., Tsimbalista T., Dulebova L. Research into kinetic patterns of chemical metallization of powder-like polyvinylchloride // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – № 4/12 (88). – С. 50–57.
2. Moravskiy V., Dziaman I., Suberliak S., Grytsenko O., Kuznetsova M. Features of the Production of Metal-filled Composites by Metallization of Polymeric Raw Materials // IEEE 7th International Conference on Nanomaterials: Applications and Properties (NAP-2017) Vol. 3. – Zatoka, Ukraine, September 10–15. – 2017. - P. 03NNSA18.

О.В.БУТЕНКО

Одеський національний політехнічний університет  
butik-tks@ukr.net

О.І.БРУНЕТКІН

Одеський національний політехнічний університет  
alexbrun@rambler.ru

В.Е.ДЕМИДЕНКО

Одеський національний політехнічний університет

В.В.БОНДАРЕНКО

Національний університет «Одеська морська академія»  
bondandrey@ukr.net**МОДЕЛЬ І МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ  
ГАЗІВ ПРИРОДНОГО І ШТУЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ**

*Представлено імітаційні моделі спалювання вуглеводневих газів змінного складу в камерах згорання за допомогою вимірювань температури факела і витрат пального і окислювача.*

*Ключові слова: парогенеруюча установка, лінеаризація, газоподібне вуглеводневе паливо, парове навантаження.*

O. V. BUTENKO

Odessa National Polytechnic University  
butik-tks@ukr.net

O.I. Brunetkin

Odessa National Polytechnic University  
alexbrun@rambler.ru

V.E.DEMIDENKO

Odessa National Polytechnic University

V.V. BONDARENKO

National University "Odessa Maritime Academy"  
bondandrey@ukr.net**MODEL AND METHOD OF DETERMINATION OF CONSUMPTION OF GAS COMBUSTION  
PRODUCTS NATURAL AND ARTIFICIAL ORIGIN**

*The mathematical model of the calculation of the conditional formula of gaseous hydrocarbon fuels is based on the laws of conservation of matter in the given case for hydrogen, carbon and oxygen atoms.*

*The calculation of partial pressure of products of combustion of hydrocarbons in oxygen at given temperatures and pressures will be sought from among the possible individual substances of combustion products for our case, consider the basic  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $OH$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $H$ ,  $O$ ,  $C$ . Using the Dalton law will allow you to calculate the sum of partial pressures and equal this amount to the pressure at which the burning of hydrocarbons takes place. Previously, the dissociation reactions between the substance under consideration and the constituent elements were calculated and on the basis of this compiled equation of chemical kinetics. Then a set of equations for any dimension of volumetric costs will be written in the form of six equations of the formation of a compound  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $OH$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ , the law of active masses.*

*The law of chemical equilibrium, which is the ratio of the concentration of substances of corresponding reactions, which is a constant of chemical equilibrium. But it is more convenient to determine the composition of the gas mixture not through concentrations, but through their partial pressures. In order to replace concentrations with partial pressures, in addition to them, one more variable quantity of the fuel moles considered is introduced.*

*The model is a system of nonlinear algebraic equations and in the process of its solution it requires linearization. To reduce the difference between the resulting partial pressures (it can reach 10 to 15 orders) and, accordingly, to reduce the error and increase the stability of the solution, all the equations of the output system logarithm. This leads to the fact that the members of the modified system thus remain non-linear, but will differ by no more than 10-15 times.*

*In linearization, which is carried out in the usual way, using the arguments for the desired quantities (partial pressure of the products of combustion), the corrections will be determined for them. Consequently, they can vary among themselves for the same 10 - 15 orders. To avoid this as arguments in the differentiation, logarithms of the sought-after arguments of partial pressures and magnitudes are used.*

*Key words: steam generating installation, linearization, gaseous hydrocarbon fuel, steam loading.*

Прийнято окислювач - кисень, пальне - вуглеводневий газ. До його складу входять елементи «С» - вуглець і «Н» - водень. Конкретний склад пального, а також коефіцієнт « $\alpha$ » (коефіцієнт надлишку окислювача) невідомі.



Пальне і окислювач в газоподібному стані. Вихідні дані:  $^{(1)}V_{ок}$ ;  $^{(1)}V_{зоп}$ ;  $^{(1)}T$ ;  $^{(2)}V_{ок}$ ;  $^{(2)}V_{зоп}$ ;  $^{(2)}T$ ;  $\mu_C$ ;  $\mu_H$ ;  $\mu_O$ ;  $P_\Sigma$ ;  $\delta$ , де  $V_{ок}$  - об'ємна витрата окислювача;  $V_{зоп}$  - об'ємна витрата пального;  $T$  - температура в камері при даних витратах пального і окислювача;  $^{(1)}X$ ;  $^{(2)}X$  - верхній індекс, який вказує на замір параметрів при відповідних витратах  $V_{зоп}$  ·  $V_{ок}$ ;  $\mu_C$ ,  $\mu_H$ ,  $\mu_O$  - відповідні маси вуглецю, водню, кисню;  $P_\Sigma$  - тиск у камері;  $\delta$  - коефіцієнт нижньої релаксації.

Попередньо визначаються:

$$\begin{aligned}^{(1)}a_T &= ^{(1)}\dot{V}_T / (^{(1)}\dot{V}_{ок} + ^{(1)}\dot{V}_T), & ^{(2)}a_T &= ^{(2)}\dot{V}_T / (^{(2)}\dot{V}_{ок} + ^{(2)}\dot{V}_T), & ^{(1)}a_{ок} &= ^{(1)}\dot{V}_{ок} / (^{(1)}\dot{V}_{ок} + ^{(1)}\dot{V}_T), \\ ^{(2)}a_{ок} &= ^{(2)}\dot{V}_{ок} / (^{(2)}\dot{V}_{ок} + ^{(2)}\dot{V}_T), & \mu_{CO}, \mu_{CO_2}, \mu_{H_2}, \mu_{O_2}, \mu_{H_2O}, \mu_{OH}\end{aligned} \quad (1)$$

Розглянемо обчислення парціальних тисків продуктів згорання вуглеводнів в кисні при заданих температурі і тиску. З числа можливих індивідуальних речовин продуктів згорання розглянемо основні  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $OH$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $H$ ,  $O$ ,  $C$ . Молекулярна маса умовної формули палива визначається у вигляді

$$\mu_m = \mu_T + V_{ок} / V_T \cdot \mu_{ок}, \quad \mu_m = \nu_H^{(T)} \cdot \mu_H + \nu_C^{(T)} \cdot \mu_C + V_{ок} / V_T \cdot a \cdot \mu_O, \quad (2)$$

де  $V_{ок}$ ,  $V_T$  - об'ємні витрати окислювача і пального відповідно;  $\mu_{ок}$ ,  $\mu_T$  - молекулярні маси окислювача і пального відповідно;  $\mu_m$  - молекулярна маса умовної формули палива.

$$\text{Для окислювача } \mu_{ок} = 2 \cdot \mu_O^{(ок)} = a \cdot \mu_O^{(ок)}, \quad (3)$$

де  $\mu_O = 15,9994$  - атомна маса кисня;  $a=2$  - кількість атомів кисня в окислювачі.

$$\text{Для пального } \mu_T = \nu_H^{(T)} \cdot \mu_H + \nu_C^{(T)} \cdot \mu_C, \quad (4)$$

де  $\mu_H = 1,00795$  - атомна маса водня;  $\mu_C = 12,0108$  - атомна маса вуглецю;  $\nu_H^{(T)}$ ,  $\nu_C^{(T)}$  - кількість атомів водню і вуглецю в умовній формулі пального.

Якщо пальне складається з однієї речовини, то і відповідають кількості відповідних атомів в хімічній формулі цієї речовини. Зі сказаного випливає  $\nu_H^{(T)} = \nu_H^{(T)}$ ;  $\nu_C^{(T)} = \nu_C^{(T)}$ ;  $V_{ок} / V_T \cdot a = \nu_O^{(T)}$ .

Тут  $\nu_H^{(T)}$ ,  $\nu_C^{(T)}$ ,  $\nu_O^{(T)}$  - кількість атомів водню, вуглецю і кисню в умовній формулою палива. Величини  $\nu_H^{(T)}$  і  $\nu_C^{(T)}$  - невідомі і підлягають визначенню.

Тоді набір рівнянь для будь-якої точки заміру об'ємних витрат запишеться у вигляді шести рівнянь закону діючих мас.

$$\begin{aligned}P_C \cdot P_O / P_{CO} &= \kappa_1(T), & P_C \cdot P_O^2 / P_{CO_2} &= \kappa_2(T), & P_H^2 \cdot P_O / P_{H_2O} &= \kappa_3(T), \\ P_H \cdot P_O / P_{OH} &= \kappa_4(T), & P_H^2 / P_{H_2} &= \kappa_5(T), & P_O^2 / P_{O_2} &= \kappa_6(T).\end{aligned} \quad (5)$$

Попередньо розраховувалися реакції дисоціації між розглянутими речовиною і складовими елементами.

Рівняння збереження речовини

$$\begin{aligned}M_T \cdot \nu_C^{(T)} &= \nu_C^{(T)} \cdot M_T = P_{CO} + P_{CO_2} + P_C, & M_T \cdot \nu_H^{(T)} &= \nu_H^{(T)} \cdot M_T = 2 \cdot P_{H_2O} + 2 \cdot P_{H_2} + P_{OH} + P_H, \\ M_T \cdot \nu_O^{(T)} &= V_{ок} / V_T \cdot a \cdot M_T = P_{CO} + 2 \cdot P_{CO_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + 2 \cdot P_{O_2} + P_O,\end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{Закон Дальтона } P_{CO} + P_{CO_2} + P_{H_2} + P_{O_2} + P_{H_2O} + P_{OH} + P_H + P_O + P_C = P_\Sigma, \quad (7)$$

$$\text{Закриваюче рівняння } (I_{(T)} + V_{ок} / V_T \cdot I_{(O)}) \cdot M_T = \sum_q P_q \cdot I_q \quad (8)$$

Рівняння записані для одного з замірів, наприклад  $^{(1)}V_{ок}$ ,  $^{(1)}V_T$ ,  $^{(1)}T$ .

При цьому, в якості невідомих виступатимуть  $^{(1)}P_i, ^{(1)}M_T, ^{(1)}\epsilon_H^{(T)}, ^{(1)}\epsilon_C^{(T)}$ . Для другого заміру  $^{(2)}V_{ок}, ^{(2)}V_T, ^{(2)}T$  може бути записана друга частина рівнянь в аналогічному вигляді. У цьому випадку, як невідомі виступатимуть  $^{(2)}P_i, ^{(2)}M_T, ^{(2)}\epsilon_H^{(T)}, ^{(2)}\epsilon_C^{(T)}$ . Так як прийнято, що склад пального хоча і невідомий, але не змінюється від заміру до заміру, величини  $\epsilon_H^{(T)}$  і  $\epsilon_C^{(T)}$  однакові для першої (1-ий замір) і другої (2-ий замір) частин загальної системи рівнянь.

Для підвищення стійкості рішення необхідно знайти жорсткий зв'язок між обумовленими величинами, що не змінюються в процесі обчислень складу продуктів згорання. З цією метою був визначений зв'язок між кількістю атомів  $[C]$  і  $[H]$  в пальному при  $\alpha=1$  (стехіометричному співвідношенні компонентів).

$$\dot{V}_{ок} / \dot{V}_T = \alpha \cdot \chi_0 = \chi_0,$$

З іншого боку, при стехіометричному співвідношенні кількість максимальних валентностей окислювальних елементів дорівнює кількості максимальних валентностей відновлювальних елементів. Тому стосовно до вуглеводнів і кисню можна записати такий баланс:

$$C_{bc} H_{BH} + \dot{V}_{ок} / \dot{V}_T \cdot O_2 = b_C \cdot CO_2 + b_H / 2 \cdot H_2O,$$

(9)

$$\text{а із нього баланс по атомам кисню: } 2 \cdot \dot{V}_{ок} / \dot{V}_T = 2 \cdot b_C + b_H / 2, \quad (10)$$

Рівняння є основою розглянутої моделі і є нелінійними. Рішення їх може бути отримано за методом Ньютона шляхом лінеаризації вихідних рівнянь і рішення системи лінійних рівнянь щодо поправок шуканих величин. Шукані величини визначаються в ітераційному процесі шляхом складання початкових наближень із знайденими поправками.

Метод визначення оптимального відношення пальне/повітря при спалюванні вуглеводневого газу, склад якого довільно змінюється в часі, наступний.

Крок 1. На інтервалі часу  $\Delta\tau$  вимірюється температура  $T$  і усереднюється її значення. На рис. 1 графічна ілюстрація цього виміру показана лінією  $T = const$ . Вимірювання температури здійснюється при фіксованих поточних  $i$ -их значеннях  $\dot{V}_{ок i}$  і  $\dot{V}_{T i}$ .

Крок 2. При фіксованому значенні  $\dot{V}_{T i}$  відбувається зміна  $\dot{V}_{ок i}$  на величину  $\delta\dot{V}_{ок}$ . Вимірюється нове значення температури  $T(\dot{V}_{ок i} + \delta\dot{V}_{ок})$  і визначається характер монотонності на розглянутому інтервалі зміни об'ємної витрати повітря. Якщо  $T(\dot{V}_{ок i}) > T(\dot{V}_{ок i} + \delta\dot{V}_{ок})$ , то температура  $T$  спадає на цьому інтервалі і у випадку  $T(\dot{V}_{ок i}) < T(\dot{V}_{ок i} + \delta\dot{V}_{ок})$  — вона зростає див. рис 5. Крок 2 здійснюється до тих пір, поки подальша  $i+1$  зміна  $\delta\dot{V}_{ок}$  не приведе до зміни характеру монотонності на протилежний.

Крок 3. Змінюється знак прирощення  $\delta\dot{V}_{ок}$  на протилежний та відбувається перехід до кроку 1.

У такому пошуковому режимі в нескінченному тимчасовому циклі розглянутий алгоритм визначає область поточного екстремуму. Якісна зміна складу газу в процесі горіння призводить до пошуку області нового екстремуму.

По-перше принципово нова околиця екстремуму значення температури  $T$  може знаходитися як вище, так і нижче поточної зони і, по-друге, за значенням об'ємної витрати повітря  $\dot{V}_{ок}$  - як зліва, так і праворуч від неї.

Розглянемо на прикладі спалювання метану, етилену і суміші метану 80%, етану 10% і етилену 10% зі зміною області екстремуму, отриманої за запропонованим алгоритмом див. рис.1.

Припустимо, що вказаний пошуковий алгоритм привів до околиці точки  $A$  кривої (4) і відомі

поточні  $T(\dot{V}_{ок i})$  і  $\dot{V}_{ок i}$ . Допустимо, стрибкоподібно відбулася зміна якісного складу пального: на

метан крива (1) або етилен крива (3). У такому випадку при незмінному  $\dot{V}_{ок i}$  відбудеться зміна температури  $T$  на часову інтервалі  $\Delta\tau$ . Якщо якісний склад буде відповідати етилену, то поточне значення температури (крок 1) буде знаходитися в околиці точки  $B_1$  на зростаючій частині кривої (3). Якщо якісний склад буде відповідати метану, то поточне значення температури (крок 1) знаходитиметься в околиці точки  $C_1$  на спадній частині кривої (1). Незалежно від точки здійснюється прирощення  $\delta\dot{V}_{ок}$  і

визначається характер монотонності поточної кривої. Виконуючи крок 2 запропонованого алгоритму визначається нова околиця екстремуму: точка **C** - для метану крива (1), точка **B** - для етилену крива (3).

Результатом можна вважати метод підтримки заданого парового навантаження, який базується на математичних моделях обчислення умовної формули газоподібного вуглеводневого палива і визначенні динамічних характеристик парового котла, що дало можливість підтримувати максимальний рівень ефективності генерації пари при використанні вуглеводневого газу змінного складу за рахунок постійної зміни відносини паливо/повітря за допомогою вимірювань температури факела в парогенеруючій установці.

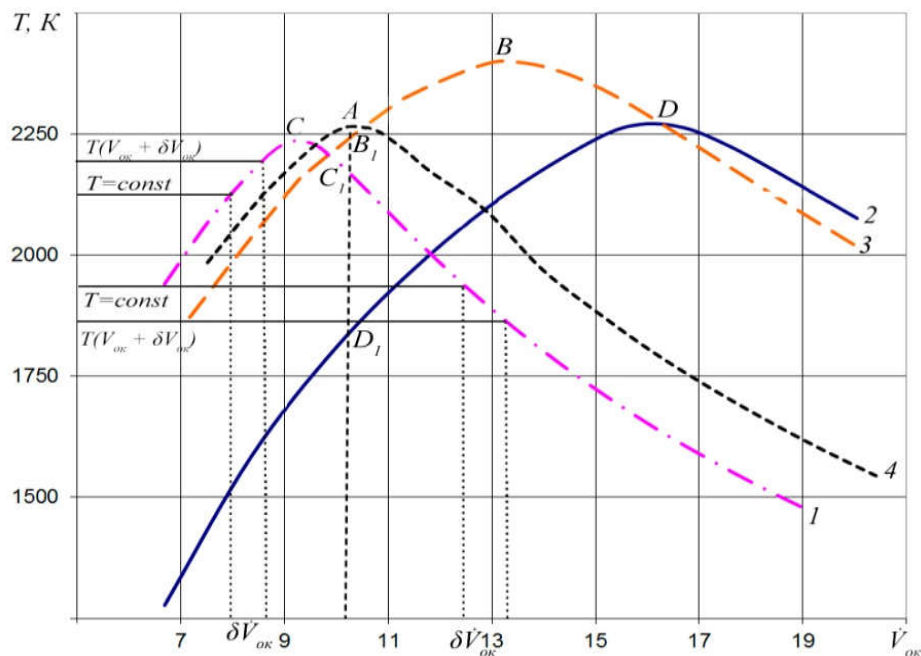


Рис.1 – Залежність зміни температури горіння  $T$  (метану (1), етану (2), етилену (3), суміші метану 80%, етану 10% і етилену 10% (4)) від об'ємної витрати повітря  $\dot{V}_{ок}$ .

### Література

1. Максимов М.В. Модель и метод определения условной формулы углеводородного топлива при сжигании / М.В. Максимов, А.И. Брунеткин, А.В. Бондаренко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. –Т. 6, № 8(66). – С. 20–27.
2. Давыдов В.О. Метод расчета температуры горения произвольной смеси газообразного углеводородного топлива при произвольном избытке воздуха / В.О. Давыдов, А.В. Бондаренко // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 2013. – Вып. 3 (42). – С. 98–102.
3. Максимов М.В. Математическая модель сжигания несертифицированных видов топлива / М.В. Максимов, В.Ф. Ложечников, Т.С. Добровольская, А.В. Бондаренко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. –Вып. 2. – С. 47–50.

### References

1. Maksimov M.V. Model' i metod opredelenija uslovnoj formuly uglevodorodnogo topliva pri szhiganii / M.V. Maksimov, A.I. Brunetkin, A.V. Bondarenko // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2013. –Т. 6, № 8(66). – S. 20–27.
2. Davydov V.O. Metod rascheta temperatury gorenija proizvol'noj smesi gazoobraznogo uglevodorodnogo topliva pri proizvol'nom izbytku vozduha / V.O. Davydov, A.V. Bondarenko // Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta. – Odessa, 2013. – Vyp. 3 (42). – S. 98–102.
3. Maksimov M.V. Matematicheskaja model' szhiganiya nesertificirovannyh vidov topliva / M.V. Maksimov, V.F. Lozhechnikov, T.S. Dobrovolskaja, A.V. Bondarenko // Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2014. –Vyp. 2. – S. 47–50.

І.С. КУШНІР

Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова

О.М. ХАРАБЕТ

Одеський національний політехнічний університет

kushnir.igor@onat.edu.ua

## НЕЧІТКА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ В'ЯЗКОСТІ БАГАТОКОМПОНЕНТНОГО РІДКОГО ПАЛИВА НА БАЗІ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ FUZZYTECH

**Анотація.** Представлено результати створення системи контролю в'язкості в процесі виробництва багатокomпонентного рідкого палива з використанням теорії нечітких множин. Створено терми відповідних вхідних та вихідної лінгвістичних змінних, за допомогою яких виконано точний опис можливих співвідношень компонентного складу з вмістом реагенту-пластифікатора на кінцеве значення в'язкості вихідної суміші. Виконано розробку бази правил для нечіткого блока прийняття рішень з можливістю розширення та доповнення. Надані пропозиції щодо реалізації запропонованої системи сучасними спеціалізованими програмними засобами на прикладі використання програмного пакету FuzzyTECH. Отримано поверхню можливих значень в'язкості багатокomпонентного рідкого палива у залежності від компонентного складу та кількості реагенту-пластифікатора.

**Ключові слова:** теорія нечітких множин, база правил, лінгвістична змінна, терм, технологічні параметри, в'язкість суміші.

I.S. KUSHNIR

Odessa National Academy of Telecommunications named after O. S. Popov

A.N. KHARABET

Odessa National Polytechnic University

kushnir.igor@onat.edu.ua

## FUZZY CONTROL SYSTEM OF VISCOSITY OF MULTICOMPONENT LIQUID FUEL ON BASE OF PROGRAMMING COMPLEX FUZZYTECH

**Annotation.** The results of creation of the control system of viscosity in the process of production of multicomponent liquid fuel with the use of theory of fuzzy sets are presented. The terms of corresponding entrance are created and initial linguistic variables by means of that exact description of possible correlations of component composition with content to the reagent-plasticizer for the eventual value of viscosity of initial mixture. Development of base of rules is executed for the fuzzy block of making decision with possibility of expansion and addition. Suggestions for realization of the offered system are given by modern specialized programming facilities on the example of the use of programming package FuzzyTECH.

The surface of possible values of viscosity of multicomponent liquid fuel is got in dependence on component composition and amount to the reagent-plasticizer. The special man-machine interface for expert-operator of control system by the production of multicomponent liquid fuel is also worked out for the area of control of viscosity and estimation of quality indexes of initial mixture which is made by FuzzyTECH components of fuzzy systems developing, industrial programming and computing. The experimental design of working of the created system performances is executed in accordance with the credible states of entrance sizes taking into account their converting into the simplified linguistic variables in case of a limit amount of terms and in case of the extended amount of terms without the change of kind initial to the parameter of viscosity of multicomponent liquid fuel in the process of its production. The research of reaction of the created fuzzy control system of viscosity is executed not only on the change of entrance variables, but also on appearance of out-of-control external indignations.

**Keywords:** theory of fuzzy sets, base of rules, linguistic variable, term, technological parameters, viscosity of mixture.

Паливно-енергетичний потенціал України значною мірою залежить від використання закордонних енергоносіїв, особливо природного газу та нафтопродуктів. Впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, ще не досягло значного розмаху, а в деяких регіонах країни є також не вигідним. Існуюча ситуація не дає можливості розвитку вітчизняного ринку паливних ресурсів, серед яких безумовним лідером є тверді види палива.

Присвячені багатокomпонентному рідкому паливу (БКРП) дослідження розкривають лише різноманіття способів виробництва та їх особливості, але не містять інформації про будь-яку ймовірну систему керування таким процесом або навіть його окремими частинами [1].

В'язкість прямопропорційно залежить від об'ємної частки твердої речовини в суміші та оберненопропорційно в'язкості рідкої складової [2, 3], саме управління відповідно до такої залежності необхідно реалізувати в майбутній системі керування виробництвом. Варто зауважити, що витрата реагента-пластифікатора не повинна перевищувати значення в 1 % від загальної кількості суміші [1].

В більшості випадків визначено, що в процесі виробництва варто зосередити увагу параметрам вмісту твердої складової, гранулометричному складу, в'язкості та статичній стабільності [2, 3]. Таким чином система управління в першу чергу повинна забезпечувати контроль та підтримання на заданому рівні наведених вище параметрів.

Варто зауважити, що подібні виробничі процеси не мають достатнього математичного описання та їх робота значною мірою супроводжується певною невизначеністю та неточністю вимірювань. Саме тому варто зосередити свою увагу на створенні системи керування процесом виробництва БКРП з використанням нечітких систем підтримання прийняття рішень [4].

Розробка системи керування в'язкістю БКРП на основі нечіткої системи підтримання прийняття рішень дозволить виконувати контроль одного з основних параметрів кінцевої продукції впродовж усього процесу виробництва та забезпечити її бажане значення.

Сучасний ринок програмного забезпечення дає змогу використати для вирішення поставленої задачі не лише саму теорію, а й спеціальне програмне забезпечення.

У роботі над створенням основи нечіткої системи контролю в'язкості в процесі виробництва БКРП було використано програмний пакет FuzzyTECH компанії INFORMGmbH (Inform Software Corporation, Німеччина), що призначена для вирішення різноманітних задач нечіткого моделювання. В програмі передбачена можливість створення спеціального програмного коду для ряду існуючих програмованих логічних контролерів з метою реальної реалізації створюваних нечітких систем управління [4].

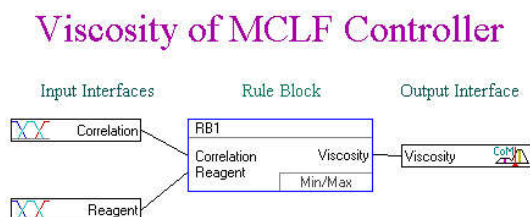


Рис. 1. Загальний вид проекту нечіткої системи контролю в'язкості у виробництві БКРП

#	IF		THEN	
	Correlation	Reagent	DoS	Viscosity
1	pos_small	zero	1.00	neg_medium
2	zero	zero	1.00	zero
3	pos_small	close	1.00	neg_medium
4	zero	close	1.00	zero
5	neg_small	close	1.00	pos_medium
6	neg_small	medium	1.00	pos_high
7	neg_big	medium	1.00	pos_medium
8	zero	far	1.00	pos_medium
9	neg_small	far	1.00	pos_high
10				

Рис. 2. Таблиця правил для отримання рішень щодо значення в'язкості відповідно до співвідношення основних компонентів та додаткового реагенту

Як результати створення нечіткої системи контролю одного з найважливіших технологічних параметрів – в'язкості, отримано відповідну таблицю правил для отримання рішень щодо ймовірних значень співвідношення основних компонентів та додаткового реагенту, по показана на рис. 2.

Під час створення нечіткої системи управління в спеціалізованому програмному забезпеченні FuzzyTECH використовувалась база експериментальних даних [1], що підлягає подальшому розширенню, забезпечуючи адаптованість функціонування в умовах різноманіття технологічного обладнання.

Розглянута система є відкритою й дозволяє внесення змін щодо вигляду і кількості термів, значень контрольних точок, а також дозволяє зміни бази правил та вагових коефіцієнтів кожного.

Використання у системі управління виробництвом БКРП системи нечіткого прийняття рішень, яка створена в спеціалізованому програмному забезпеченні FuzzyTECH дає можливість підвищити якісні показники виробництва й енергоефективність технологічного процесу у цілому, а також відповідність заданим вимогам щодо якості вихідної продукції.

### Література

1. Sunggyu Lee, James G. Speight, Sudarshan K. Loyalka. Handbook of alternative fuel technologies // CKC Press, New York, 2007. – 524 p.
2. Кушнір І. С. Нечітка система контролю в'язкості суміші при виробництві водовугільного палива / І. С. Кушнір, А. І. Андреев, О. М. Харабет. // Праці інституту електродинаміки Національної академії наук України. Збірник наукових праць. Спец. випуск. Ч.1. – К.: 2011. – с. 182-189.
3. Кушнір І. С. Створення оптимальної системи управління за умов невизначеності та неповноти інформації про стан технологічного процесу / І. С. Кушнір, О. М. Харабет. // Матеріали XVII МНТК ВОТТП-17-2017, 8-13 червня 2017 р. в м. Одеса (Затока) – с. 109-110.
4. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH / А. В. Леоненков – СПб.: Издательская группа BHV, 2005 – 736 с.

### References

1. Sunggyu Lee, James G. Speight, Sudarshan K. Loyalka. Handbook of alternative fuel technologies // CKC Press, New York, 2007. – 524 p.
2. Kushnir I. S. Nечitka systema kontrolyu v'yazkosti sumishi pry vyrobnytstvi vodovuhil'noho palyva / I. S. Kushnir, A. I. Andryeyev, O. M. Kharabet. // Pratsi instytutu elektrodynamiky Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrainy. Zbirnyk naukovykh prats'. Spets. vypusk. Ch.1. – K.: 2011. – s. 182-189.
3. Kushnir I. S. Stvorennya optimal'noyi sistemi upravlinnya za umov neviznachennosti ta nepovnoti Informatsiyi pro stan tehnologichnogo protsesu / I. S. Kushnir, O. M. Harabet. // Materlali XVII MNTK VOTTP-17-2017, 8-13 chervnya 2017 r. v m. Odesa (Zatoka) – s. 109-110.
4. Leonenkov A. V. Nечetkoe modelyrovanye v srede MATLAB y FuzzyTECH / A. V. Leonenkov – SPb.: Yzdatel'skaya hruppa BHV, 2005 – 736 s.

## ИЗУЧЕНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОМАССОБМЕНА И КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ ПОРИСТЫХ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПОМОЩИ ОПТИКО-ЦИФРОВЫХ МЕТОДОВ

Для изучения кинетики окисления частиц, разработан и применен новый метод диагностики высокотемпературных процессов, основанный на цифровой регистрации объекта исследований с последующей компьютерной обработкой изображений. Целью работы явилось изучение влияния пористости углеродного массива на температурно-временные характеристики и механизм высокотемпературного окисления частиц угля в нагретом воздухе. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что период индукции частиц с более развитой внутренней поверхностью меньше, а температура окисления больше в результате дополнительного тепловыделения в порах частицы. Применяемый для определения эффективного диаметра частицы оптико-цифровой метод, позволил доказать диффузионный режим окисления частиц различной пористости.

Ключевые слова: углерод, пористость, окисление, внутреннее реагирование, период индукции, температура

S.G. ORLOVSKAYA, O.N. ZUI

I.I.Mechnikov's Odessa National University  
svetor25@gmail.com

## STUDY OF HIGH-TEMPERATURE HEAT AND MASS EXCHANGE AND KINETICS OF OXIDATION OF POROUS COAL PARTICLES BY THE OPTICAL-DIGITAL METHODS

*Annotation* – The relevance of research is caused by the tasks of increasing the efficiency of burning fuels in power devices. The main characteristics of combustion are the temperature, time and completeness of combustion of fuel particles. In this paper, a new method for studying the kinetics of particle oxidation was developed and applied, based on the digital registration of the object of investigation, followed by computer processing of the images obtained. To study the temperature regime of oxidation, a thermocouple method was used, as well as a noncontact method of brightness pyrometry. The aim of the research was to study the influence of the porosity of the carbon mass on the temperature-time characteristics and the mechanism of high-temperature oxidation of fuel particles in heated air.

*As a result of the conducted experimental studies it was established that the induction period (the time for which the particle passes to the high-temperature oxidation regime) for coal particles with a more developed inner surface is smaller. This is due to additional heat release during the course of chemical reactions in the pores of the particle. This circumstance also leads to an increase in the oxidation temperature of particles with a higher porosity. This difference is approximately 50-70 degrees in the regime of quasi-stationary high-temperature oxidation. The optic-digital method used to determine the effective diameter of a particle made it possible to study the oxidation regime of particles of different porosity. As a result, it is proved that the coal particles are oxidized in the diffusion regime. It was also found that the main decrease in particle diameter occurs in the interval 1200K ÷ 1250K.*

*An important characteristic of the fuel processing process is the time of high-temperature oxidation, counted from the induction period to the moment of completion of oxidation. The application of the analog-digital device developed for this task made it possible to establish with a maximum accuracy the period of induction of coal particles of different porosity. It has been proved that the time of high-temperature oxidation decreases with increasing porosity of particles.*

*Keywords: carbon, porosity, oxidation, internal response, induction period, temperature*

Актуальной задачей для создания высокоэффективных камер сжигания твердого топлива либо усовершенствования уже имеющихся, является исследование высокотемпературного тепло- и массообмена и кинетики химических превращений углеродного топлива. В работе приведены результаты экспериментальных исследований влияния пористости углерода на время, температуру и кинетику окисления частиц в нагретом воздухе. Углеродный массив порезан огромным количеством микротрещин и пор, которые соединяясь между собой, образуют большую внутреннюю поверхность [1]. Поэтому горение углеродных частиц обусловлено химическим реагированием как на внешней поверхности, так и внутри – на поверхности пор.

Экспериментальные исследования проводились со сферическими частицами углерода с начальными диаметрами  $d_0 = 5.1 \div 5.4$  мм. Температура частиц измерялась при помощи термопар и яркостного пирометра. Изменение диаметра частиц фиксировалось цифровой камерой. В дальнейшем происходила обработка цифровых изображений с применением пакета MATLAB [2]. Перед началом опыта определялись плотность ( $\rho$ ) и пористость ( $\Pi$ ) частиц. Для непористой частицы  $\Pi = 0$ . В опытах использовались угольные частицы с плотностью  $1640 \text{ кг/м}^3$  и  $1534 \text{ кг/м}^3$ .

На рисунке 1 представлены в сравнении временные зависимости температуры  $T_c(t)$ , диаметра  $d(t)$  и квадрата диаметра  $d^2(t)$  частиц углерода различной пористости в процессе высокотемпературного окисления при одинаковой температуре нагретого газа  $T_g$ . Анализ рис.1,в) показывает, что квадрат диаметра углеродных частиц на стадии горения является линейной функцией времени, т.е. химическое реагирование частиц протекает в диффузионном режиме. Из рис.1, а) видно, что частица с большей пористостью быстрее выходит на высокотемпературный режим по сравнению с менее пористой частицей, т.к. велика роль внутреннего реагирования на стадии разогрева. Время высокотемпературной стадии окисления пористой частицы значительно меньше. На этой стадии происходит более интенсивное изменение диаметра пористой частицы (рис.1, б). Из рис.1, г) следует, что до температуры  $T_c=1200$  К диаметр частиц практически не изменялся. Интенсивное уменьшение диаметров частиц происходит в интервале температур  $T_c=1200\div 1250$  К. Затем скорость химического реагирования уменьшается.

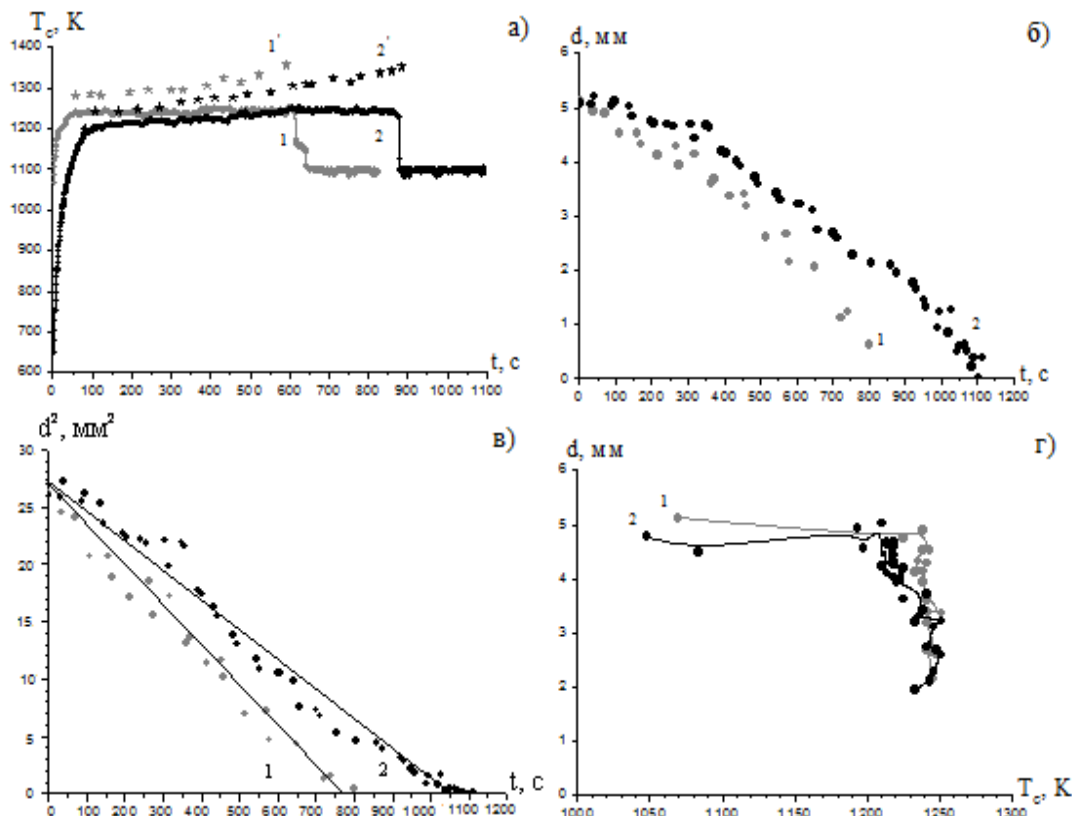


Рис.1. Временные зависимости температуры (а), диаметра (б) и квадрата диаметра (в) частицы; зависимость диаметра от температуры (г) для  $d_0=5.1$  мм при температуре газа  $T_g=1100$  К. 1 –  $\rho=1534$  кг/м<sup>3</sup>,  $\Pi=0.2$ ; 2 –  $\rho=1640$  кг/м<sup>3</sup>,  $\Pi=0.3$ ; ★★★ – температуры, измеренные яркостным пирометром.

Таким образом, было установлено существенное влияние пористости на стадии перехода частиц к высокотемпературному окислению (период индукции). Показано, что высокотемпературная стадия окисления частиц различной пористости протекает в диффузионном режиме. Доказано, что использование пористого углеродного топлива является более эффективным.

### Литература

1. Основы практической теории горения / Под.ред. В.В. Померанцева. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.– 312с.
2. Каримова Ф.Ф., Орловская С.Г., Шкоропато М.С. Исследование эволюции размеров и формы капли при плавлении / 19-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение» DSPA-2017, Москва, Россия. – С.607-611.

### References

1. Osnovy praktychnoyi teorii horinnya / Pod.red. V.V. Pomerantseva. - L. : Vyshcha shkola, 1986.-312s.
2. Karimova F.F., Orlovs'ka S.H., Shkoropad M.S. Doslidzhennya evolyutsiyi rozmiriv i formy krapli pry plavlenni / 19-ya Mizhnarodna konferentsiya «Tsyfrova obrobka syhnaliv ta yiyi zastosuvannya» DSPA-2017, Moskva, Rosiya. - S.607-611.

УДК 678.027.3:621.31

О.М. ХАЛІМОВСЬКИЙ, О.Л. СОКОЛЬСЬКИЙ, І.І. ІВЦЬКИЙ, О.С. БОГУТА  
 Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Україна, Київ,  
 03056, проспект Перемоги, 37  
 e-mail: o.khalimovskyy@ukr.net

## ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ІЗ СКАЛЯРНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Визначено межі зміни величини інтенсивності сигналу завдання системи автоматичного керування швидкості руху штоку інжекторного пристрою в циклічному режимі її роботи при застосуванні класичного та Fuzzy регуляторів. У якості електроприводу використовувалась система перетворювач частоти асинхронний двигун зі скалярним керуванням.*

*Ключові слова: система автоматичного керування, електропривод, асинхронний двигун, регулятор, скалярне керування, полімер, інтелектуальний датчик.*

O.M. KHALIMOVSKYY, O.L. SOKOLSKYI, I.I. IVITSKYI, O.S. BOHUTA  
 National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

## ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVER WITH SCALAR CONTROL FOR AUTOMATION OF PRODUCTION PROCESS OF INTELLIGENT POLYMER COMPOSITION MATERIALS

*Diagnostics of the stress-strain state of parts and assemblies and obtaining real-time information about their characteristics determine the necessity of automate process of manufacturing intelligent polymer composite materials (IPCM). The task of automation of the IPCM production process consists in the cyclic formation of a polymer blend portion with intelligent sensors (IS) and transporting it to products at a certain depth using an injector device. Transportation of a polymer portion in automatic control systems (ACS) can be realized by using various drive systems. The use of an electric drive (ED) in the ACS to transport a polymer portion with an IS has advantages. They consist in the fact that in certain parts of the rod movement the ED operation in a recuperative mode, it can deliver electric energy to the grid. In addition, the ED can provide, within certain limits, the necessary dynamics of the injector device rod (IDR) movement. Therefore, the issue of evaluating the possibility of using various ED systems to provide the necessary modes of IDR movement is topical. The analysis of the operation of such ACS speed using a vector-controlled induction motor showed satisfactory performance indices of their performance in dynamic modes. In order to assess the possibility of using other ED systems in these ACS, it is necessary to determine the marginal boundaries of the system speed reference signal intensity ( $dU_r/dt$ ) during the development of the IDR trajectory, taking into account the overload capability of the engines. This evaluation determines the time range of the cycle duration for forming a polymer portion with the IS and the possibility of achieving the necessary injection rate of the existing portion for transporting to a predetermined depth in the extruder main channel. The results of mathematical modeling developed ACS determined the possible limits of the ACS signal speed setting intensity while working off the trajectory of the IDR, taking into account the overload capability of the engine.*

*Keywords: automatic control system, electric drive, induction motor, regulator, scalar control, polymer, intelligent sensor.*

**Мета роботи.** Розробка системи автоматичного керування (САК) швидкості руху штоку інжекторного пристрою та визначення меж зміни величини інтенсивності сигналу завдання ( $dU_z/dt$ ) швидкості системи в циклічному режимі її роботи при використанні у якості електроприводу (ЕП) системи перетворювач частоти асинхронний двигун (ПЧ-АД) зі скалярним керуванням.

**Матеріали і результати досліджень.** Задача автоматизації процесу виробництва інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів ІПКМ полягає у циклічному формуванні порції суміші полімеру з інтелектуальними датчиками (ІД) і транспортуванні її у виробі на задану глибину за допомогою інжекторного пристрою (ІП). Транспортування такої порції полімеру в САК може бути реалізовано за допомогою застосування різних систем приводу. За результатами аналітичного огляду різних типів ІП в роботі [1], як найбільш перспективну, було визначено конструкцію модифікованого ІП та розроблено аналогову САК швидкості руху штоку інжекторного пристрою з векторно-керуваним асинхронним ЕП. Для оцінки можливості застосування в цих САК асинхронного ЕП зі скалярним керуванням необхідно визначити граничні межі інтенсивності сигналу завдання ( $dU_z/dt$ ) швидкості системи при відпрацюванні траєкторії руху ІПП з урахуванням переважувальної здатності двигунів. Така оцінка визначає часовий діапазон тривалості циклу формування порції полімеру з ІД та можливість досягнення необхідної швидкості вприскування сформованої порції для її транспортування на задану глибину в основний канал екструдера.



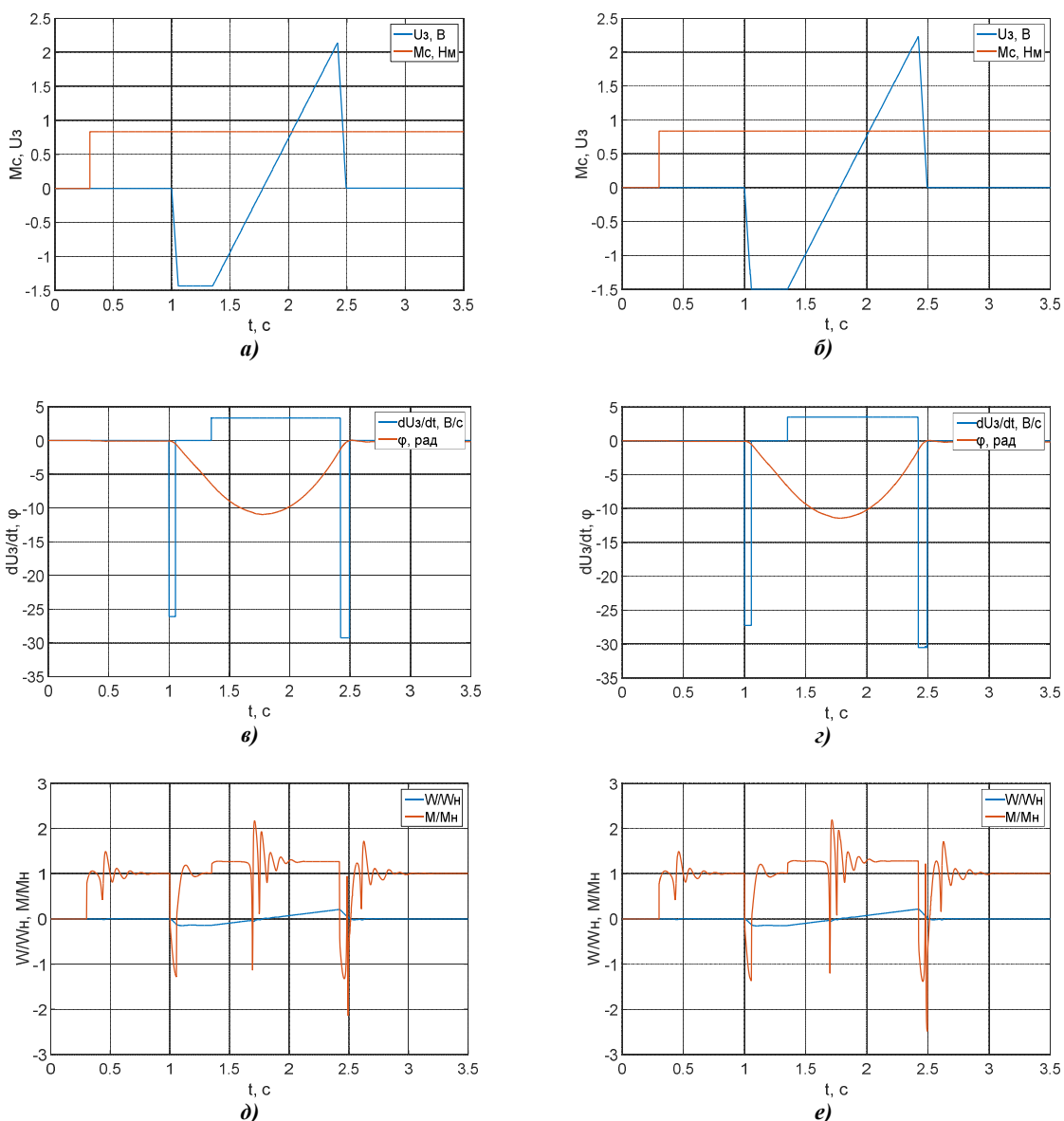
Як відомо, застосування САК з ЕП систем ПЧ-АД зі скалярним керуванням має обмеження їх використання в управлінні високо динамічними процесами. Для оцінки меж використання асинхронного ЕП зі скалярним керуванням розроблено функціональну схему САК, що представлена на рис.1. Переміщення штоку інжекційного пристрою  $L$  зі швидкістю  $v$ , характер зміни якої формує сигнал завдання  $U_3$ , забезпечується за допомогою САК швидкості. Сигнал керування  $U_{кер}$  формує напругу  $U$  та частоту  $f$  живлення асинхронного двигуна (АД).



Рис. 1. Функціональна схема САК

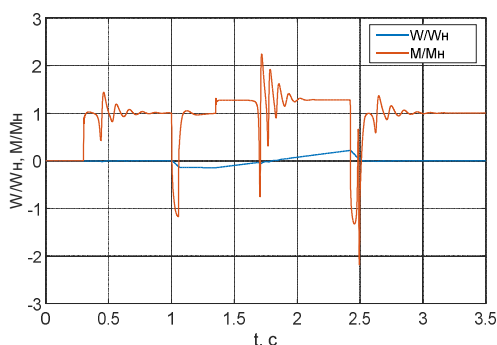
Для моделювання САК було розраховано параметри АД типу 4AA56A4У3 потужністю  $P=0,12$ кВт. В результаті синтезу системи отримано пропорційний інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор при стандартному налаштуванні контуру швидкості [2]. Моделювання було проведено за наступними умовами: середня швидкість полімеру в основному каналі – 0,02 м/с, товщина перерізу основного каналу щільної форми – 5 мм. Тиск суміші з полімеру у циліндрі – 20 МПа.

Результати математичного моделювання функціонування САК з ЕП системи ПЧ-АД із скалярним керуванням представлені на рис. 2.



**Рис. 2. Перехідні процеси САК з класичним аналоговим ПІД регулятором швидкості при значеннях зміни інтенсивності завдання, що відрізняються між собою на 4%: моменту навантаження  $M_c$  та характеру зміни сигналу завдання  $U_3$  – а, б;**

**кату  $\varphi$  обертання АД та характеру зміни величини  $dU_3/dt$  – в, г; у відносних одиницях моменту  $M$  та швидкості обертання  $\omega$  АД – д, е**



**Рис. 3. Перехідні процеси моменту АД та швидкості у відносних одиницях для САК з FPID регулятором швидкості**

Аналіз результатів моделювання показує, що застосування САК рухом штоку інжектора має обмеження, що пов'язані з величиною інтенсивності завдання сигналу швидкості. Величина інтенсивності більше за значення 3.34 В/с призводить до перевищення заданого технічними характеристиками моменту перевантаження обраного асинхронного двигуна. Застосування Fuzzy пропорційного інтегрально-диференційного (FPID) регулятора дозволяє збільшити межі інтенсивності сигналу завдання на 4% до значення 3.47 В/с. Результати моделювання САК з FPID регулятором представлені на рис. 3.

При побудові блока Fuzzy логіки для FPID регулятора використовувалась симетрична функція належності нечіткої змінної, що складається з семи

лінгвістичних термів. Найменування, форми та параметри цих термів подані в табл.1. Для FPID регулятора використовувалась база правил, що відображена у табл. 2.

**Табл.1. Найменування, форми та параметри термів**

Терм	Форма терму	Характерні точки
ВВ (Від'ємне велике)	трапеція	[-10, -10, -0.9, -0.6]
ВС (Від'ємне середнє)	трикутник	[-0.9, -0.6, -0.3]
ВМ (Від'ємне мале)	трикутник	[-0.6, -0.3, 0]
Н (Нуль)	трикутник	[-0.3, 0, 0.3]
DM (Додатне мале)	трикутник	[0, 0.3, 0.6]
(Додатне середнє)	трикутник	[0.3, 0.6, 0.9]
DB (Додатне велике)	трапеція	[0.6, 0.9, 10, 10]

**Табл.2. База правил**

		Значення X1(k)						
		ВВ	ВС	ВМ	Н	DM	DC	DB
Значення X2(k)	DB	Н	DM	DC	DB	DB	DB	DB
	DC	ВМ	Н	DM	DC	DB	DB	DB
	DM	ВС	ВМ	Н	DM	DC	DB	DB
	Н	ВВ	ВС	ВМ	Н	DM	DC	DB
	ВМ	ВВ	ВВ	ВС	ВМ	Н	DM	DC
	ВС	ВВ	ВВ	ВВ	ВС	ВМ	Н	DM
	ВВ	ВВ	ВВ	ВВ	ВВ	ВВ	ВС	ВМ
	ВВ	ВВ	ВВ	ВВ	ВВ	ВВ	ВВ	Н

**Висновки.** Введення інтелектуальних датчиків у задані просторові координати об'єму виробів із полімерних композиційних матеріалів в процесі екструзії дозволить проводити дистанційну діагностику та моніторинг цих виробів безпосередньо під час їх експлуатації [3]. За результатами розробки та математичного моделювання САК з ЕП системи ПЧ-АД зі скалярним керуванням було встановлено, що його використання для забезпечення відпрацювання траєкторії швидкості руху штоку інжектора при транспортуванні порції полімеру з ІД в циклічному режимі роботи до основного каналу екструдера обмежено величиною інтенсивності сигналу завдання системи. Такі обмеження обумовлені величиною перевантажувальної здатності двигуна в перехідних режимах роботи САК при скалярному частотному керуванні ЕП. Результати математичного моделювання функціонування САК з класичним аналоговим ПІД регулятором та FPID регулятором швидкості показали вищу ефективність використання останнього в перехідних режимах роботи системи. Питання остаточного вибору варіанту структури САК швидкості руху штоку інжекторного пристрою зі скалярним або векторним керуванням [1] асинхронного ЕП вирішується на основі порівняльного аналізу техніко-економічних показників обох систем керування в залежності від величини інтенсивності завдання необхідної для реалізації заданої траєкторії руху штоку інжектора.

### Література

1. V.I. Sivetsky, O.M. Khalimovskyy, O.L. Sokolsky, I.I. Ivitsky. Automation of Intelligent Sensor Injection Inlet In Polymer Moldings By Using Vector Controlled Electric Drive/2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering. May 29 – June 2. Kyiv, Ukraine. - S. 524-537.
2. Schröder, Dierk. Elektrische Antriebe – Regelung von Antriebssystemen / Dierk Schröder. – Berlin; Heidelberg : Springer, 2015. – 1879 p.
3. Молодцов Г. А. Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов [Текст] / Г. А. Молодцов и др. — М.: Машиностроение, 2000. -352 с.

### References

1. V.I. Sivetsky, O.M. Khalimovskyy, O.L. Sokolsky, I.I. Ivitsky. Automation of Intelligent Sensor Injection Inlet In Polymer Moldings By Using Vector Controlled Electric Drive/2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering. May 29 – June 2. Kyiv, Ukraine. - S. 524-537.
2. Schröder, Dierk. Elektrische Antriebe – Regelung von Antriebssystemen / Dierk Schröder. – Berlin; Heidelberg : Springer, 2015. – 1879 p.
3. Molodcov G. A. Formostabilnye i intellektualnye konstrukzii iz kompozitsyonnykh materialov [Text] / G.A. Molodcov i dr – М.: Mashynostrojenie, 2000. -352 s.

**THE DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL FOR CONTROL AND MANAGEMENT OF AUTONOMOUS APARTMENT ENERGY SUPPLY COMBINED SYSTEMS**

*Annotation* -Development and creation perspective sources energy supply autonomous users electric power actuality is a long ago acknowledged in many industrial-developed countries. Narrow-mindedness of fossil energy sources supplies, and also situation folded presently with a price advance on a hydrocarbon fuel, along with intensifying of ecological situation, are factors, by a stimulant introduction and use of renewable natural resources in the electric energy production field. The combined systems creation, able to work remotely and regardless of direct energy sources, will result in the considerable protection increase level from instability of temperature overfalls and overfalls in an electric network. The purpose of the article, the solution of which is directed to the invention, is to develop a mathematical model of the heat exchange unit with a heat pump, which provides an increased thermal coefficient by reducing the power consumption for compressing the working fluid in the heat pump working cavities, as well as by using the second level of the hydrodynamic device. The cavitation efficiency and degree increase coolant is arrived at by process intensification on the phases section border due to liquid stream co-operation kinetic energy and cumulative effect slam of strings. In the bubble disappearance moment (in the moment of his slamming) kinetic energy will be transformed in elementary particles collision energy. Energy, selected at bubble slamming on a few orders exceeds elementary particles (nucleons) connection energy in a kernel. As a declared method kernels collision result energy, selected between elementary particles, will be transformed in thermal energy in a liquid and it is taken from an area by treatments of hydrodynamic kvitation reactor. The presence of sensors in this system allows to control, regulate and signal about its state, and also allows to set necessary parameters for the mathematical model construction.

**Keywords:** control system, economical, independent, mathematical model, system, heat pump, temperature

A.A. АСМАНКІНА, М.Г. ЛОРІЯ, О.Б. ЦЕЛІЩЄВ, А.Б. ЖИДКОВ  
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля  
asmankina@ukr.net

**РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ ПОСІДНАНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ АУТОНОМНОГО ПРИМІЩЕННЯ**

*Актуальність розробки і створення перспективних джерел енергопостачання автономних споживачів електроенергії давно визнана в багатьох промислово розвинених країнах. Обмеженість запасів викопних джерел енергії, а також що склалася в даний час ситуація з ростом цін на вуглеводневе паливо, поряд із загостренням екологічної обстановки, є факторами, що стимулюють впровадження і використання поновлюваних природних ресурсів в сфері виробництва електричної енергії. Створення комбінованих систем, здатних працювати дистанційно і незалежно від прямих енергоресурсів, призведе до значного підвищення рівня захищеності від нестабільності температурних перепадів і перепадів в електричній мережі. Наявність датчиків в цій системі дозволяє контролювати, регулювати і сигналізувати про її стан, а також дозволяє встановлювати необхідні параметри для побудови математичної моделі.*

**Ключові слова:** система управління, економічна, незалежна, математична модель, система, тепловий насос, температура

All types basic energy and power users mediums are enterprises, and necessary part of any enterprise is it's energyeconomy. It is an aggregate of the generating, transforming, transmitter and consuming power settings by means which providing all necessary enterprise types of energy and use it to carry out in the production process. In addition, an energyeconomy plugs in itself devices and automatic control systems with their informative providing, not power settings, buildings and resources, providing reliable and economical enterprise energy work, and also lighting, heating and fuel supply. An enterprise energyeconomy is not only an auxiliary and attendant production but also basis, providing the normal enterprise functioning. [1]

Users presence (small cities, settlements), being in districts, isolated from existent grids, or provided with electric power, for diverse reasons, with interruptions, require autonomous energy supplien organization. [2] Development actuality and creation of electric power autonomous users energy supply perspective sources is a long ago acknowledged in many industrial-developed countries. Fossil energy sources supplies narrow-mindedness, and also situation folded presently with a price advance on a hydrocarbon fuel, along with ecological situation intensifying, are factors, by a stimulant introduction and renewable use of natural resources in the electric energy production field. [3] Modern European and Scandinavian countries have advanced very far in the development and application of alternative energy sources. The expansion of theat supply systems use in Ukraine based on heat pumps with ground heat exchangers is not sufficiently high, however, in the face of a sharper deficit and rising energy prices, the energy saving issue for the Ukrainian economy as a whole and for its housing and communal sector in particular becomes very relevant.

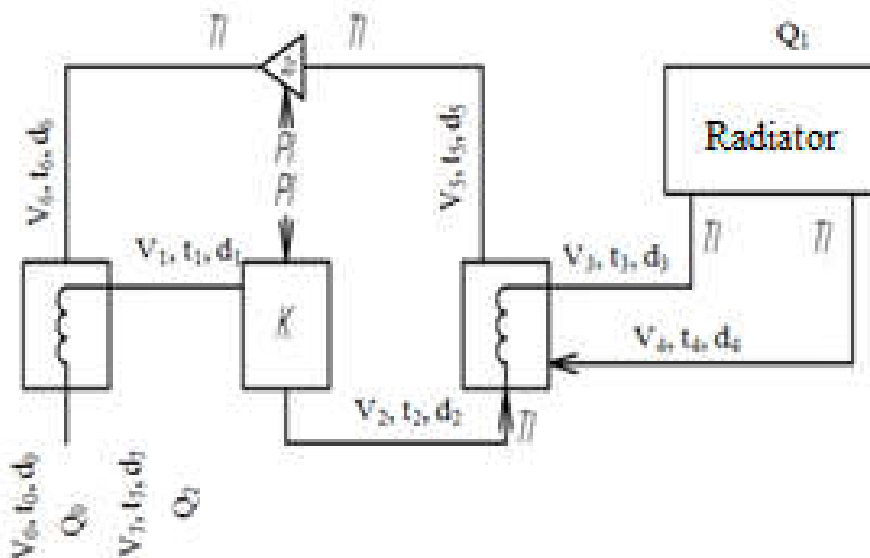


Fig.1 - Parameters for constructing a mathematical model, where V is the volume of the liquid, t is the temperature indicator, d is the diameter of the hole, Q is the amount of heat

For the leadthrough of alpha tests setting which consists of compressor K, batteries, was developed, throttle Dr, temperature sensors systems Ti and pressductors PI. For liquid motion on pipes a pump is foreseen on the laboratory setting entrance. Water, entering setting passing through a compressor, where a compression and coolagent steams moving is, as in the refrigeration settings. At the steams compression there is not only pressure increase but also temperature. After a compressor the compressed refrigeration agent enters condenser, where the compressed gas cools down and grows into a liquid, a liquid after through a choke device enters vaporizer (its pressure and temperature goes down thus), where it boils, passes to the gas state, the same taking away warmly from surrounding space. After it the coolagent pair enter again compressor for the cycle reiteration. Thus, on an output water will have a temperature much higher, than on an entrance, what provides radiator heating. The liquid further used and reducing a temperature passes through a throttle, for hydraulic resistance creation the liquid stream. Additional hydraulic resistance is created due to the liquid stream communicating section change. The hydraulic resistance change is create the necessary pressures overfall, that results in the yet greater stream temperature decline.

The strong side of this research is the positive effect obtained from reducing the energy load on the compressor. The same decrease in the throttle losses of working heat in the heat pump circuits is achieved at medium condensation temperatures. The increase in the thermal coefficient of the whole installation takes place in the hydrodynamic cavitation reactor, which is considered by the second power plant, which is very important for heating houses, cottages and, in particular, for preheating and improving the rheological properties of oil and petroleum products. The weak side of the research is the collection of results for the further development of the mathematical model of the heating installation. To assess the adequacy of a mathematical model, the collection of readings from sensors is performed depending on the temperature characteristics of the external environment, which requires more detailed observations depending on the time of year and the desired temperature in the room.

### Література

1. Фролов В.Я. Графики активной и реактивной нагрузки бытовых потребителей/ В.Я. Фролов, А.В. Коротков// Вестник ИГЭУ. – 2011. — № 5.
2. Е.А. Блинов Энергоснабжение. Учеб. пособие. – Спб.: СЗТУ/ Блинов Е.А., Джаншиев С.И., Зайцев Г.З., Можаяева С.В. – 117с.
3. Поппель О.С. Комбинированные энергоустановки на основе ВИЭ [Электронный ресурс]: ООО «ГРЦ-Вертикаль». – Электрон. Текст. дан. – М., [200-]. – URL: [www.srcvertical.com/files/misc/maps.pdf](http://www.srcvertical.com/files/misc/maps.pdf)

### References

1. Frolov V.Ya. Grafiki aktivnoy i reaktivnoy nagruzk ibyitovyih potrebiteley/ V.Ya. Frolov, A.V. Korotkov// Vestnik IGEU. – 2011. — # 5.
2. E.A. Blinov Energosnabzhenie. Ucheb. posobie. – Spb.: SZTU/ Blinov E.A., Dzhanshiev S.I., Zaytsev G.Z., Mozhaeva S.V. – 117s.
3. Poppel O.S. Kombinirovannyye energoustanovki na osnove VIE [Elektronnyiy resurs]: ООО «GRTs-Vertikal». – Elektron. Tekst. dan. – M., [200-]. – URL: [www.src-vertical.com/files/misc/maps.pdf](http://www.src-vertical.com/files/misc/maps.pdf)

## OPERATOR METHOD ANALYSIS OF PULSE-FORMING LINES AND SCREENING

*Annotation* – In this paper the results of the operator method application to the analysis of processes in the pulse-forming lines and the process of the electromagnetic field screening are presented. The model is considered as a system of Laplace transformed telegrapher's equations and examples of its solution by the Fourier method and the method of traveling waves (d'Alembert method) are given. Wide perspectives the operator method has for solving problems of analysis of transient in linear devices and systems. The advantages of the operator method are shown, which makes it possible to simplify the analysis. It is shown also that the initial conditions of the problem are taken into account automatically. Examples of the solution of the charging problem of the forming line from the DC voltage source are considered and a comparative analysis of the results obtained by both methods is carried out. It is shown that the solution by the Fourier method allows obtaining an expression for the voltage in the line in the form of a spectral function and may be used at the frequency domain analysis. It was thus obtained that, when the line is charged, the expansion of the function in a series contains only odd harmonics. The solution is given by the d'Alembert method in the form of traveling waves. This result may be used for the time domain analysis. The overlapping of traveling waves leads to overvoltage in the line and the possibility of breakdown of dielectrics between the busducts. An example is given of calculating the screening gate, in which the action of the screen is simulated using a line with distributed parameters. Distribution of electric fields is considered. Lattice diagram of the waves is shown to allow explaining process of forming interference pattern in media around the screen and into the screen.

**Keywords:** telegrapher equations, formation line, screening gate.

V. I. ЧУМАКОВ, О. І. ХАРЧЕНКО

Харківський національний університет радіоелектроніки  
v.i.ch@mail.ru

ОПЕРАТОРНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ ФОРМУВАННЯ ІМПУЛЬСІВ В ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ЛІНІЯХ  
ТА ПРОЦЕСУ ЕКРАНУВАННЯ

*Анотація* - Наведено результати застосування операторного методу до аналізу процесів в формуючих лініях та процесу екранування електромагнітного поля. Розглянуто модель у вигляді системи телеграфічних рівнянь та дано приклади її розв'язання методом Фур'є та методом блукаючих хвиль. Проведено порівняльний аналіз розв'язання задачі заряду лінії від джерела сталої напруги і показано переваги операторного методу, що дозволяє спростити аналіз.

**Ключові слова:** телеграфні рівняння, формуюча лінія, коефіцієнт екранування.

The mathematical model of processes in linear radioengineering systems and electrodynamic structures is, as a rule, a system of differential equations. Its analysis with the help of the operator method makes it possible to simplify the problem considerably. Thus, in the case of partial differential equations, the operator method makes it possible to go over to ordinary differential equations, whose solution is much easier to find [1-3].

The model of processes in the forming lines is a system of telegrapher equations whose operator form for a lossless line is written as [4]

$$-\frac{dU}{dx} = pLI - Li(0), \quad (1a)$$

$$-\frac{dI}{dx} = pCU - Cu(0). \quad (1b)$$

where,  $U$ ,  $I$  – Laplace images of voltage and current in the line,  $L$ ,  $C$  – linear inductance and linear capacitance,  $u(0)$ ,  $i(0)$  – initial values of voltage and current in the line. We note immediately the important advantage of the operator method: the initial conditions of the problem are taken into account automatically when changing over from the voltage and current originals to the images. The system of equations (1) can be reduced to the operator analog of the wave equation for the voltage

$$\frac{d^2U}{dx^2} - \gamma^2 U = 0, \quad (2)$$

the general solution of which can be written in the form

$$U = A \operatorname{ch} \gamma x + B \operatorname{sh} \gamma x. \quad (3)$$

Here  $A$  and  $B$  are constants of integration, the values of which are determined by the boundary conditions,  $\gamma = p\sqrt{LC}$  – is the operator propagation constant. Further, the solution is carried out by various methods, among which we single out the classical method (the Fourier method) and the method of traveling waves (d'Alembert method) [5].

In the first case, the voltage image is reduced to the ratio of the two functions

$$U = \frac{U_0 \operatorname{ch} \gamma(l-x)}{p \operatorname{ch} \gamma l}, \quad (4)$$

and the original of voltage is calculated using the decomposition theorem [3,4]. The calculation of the roots of the denominator function (4) is the most difficult. In a lossless line, the voltage distribution is an interference pattern of the incident wave on the input of the line and the reflected waves from the end of the line and the input terminals (in the case of a mismatched load). It is shown, for example, that in the idling mode when a constant voltage  $U_0$  is forced on the input, the voltage in an arbitrary section  $x$  of a line of length  $l$  is obtained as a Fourier series expansion of two sequences of rectangular pulses of opposite polarity with duration  $\tau = 2x\sqrt{LC}$ , frequency  $\omega_1 = 2\pi/4l\sqrt{LC}$  and duty cycle  $q = T/\tau = 4l\sqrt{LC}/2x\sqrt{LC} = 2l/x$ , which oscillate with respect to a constant component  $U_0$  (fig. 1):

$$u(t, x) = \left[ U_0 + \frac{2}{q} \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + \pi) + \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos(n\omega_1 t + n\pi) \right]. \quad (5)$$

The expansion coefficients are expressed by the formula [6], where the series contains only odd harmonics:

$$A_n = U_0 \frac{\sin \left[ (2n+1) \frac{\pi x}{2l} \right]}{(2n+1) \frac{\pi x}{2l}} = U_0 \operatorname{sinc} \left[ (2n+1) \frac{\pi x}{2l} \right].$$

The same problem solved by d'Alembert method is shown to give the voltage image in form

$$U = \frac{U_0}{p} \left[ e^{-\gamma x} + e^{-\gamma(2l-x)} - e^{-\gamma(2l+x)} - e^{-\gamma(4l-x)} \right],$$

from which the traveling waves solution may be obtained:

$$u(t, x) = U_0 \left[ 1 \left( t - \frac{x}{V} \right) + 1 \left( t - \frac{2l-x}{V} \right) - 1 \left( t - \frac{2l+x}{V} \right) - 1 \left( t - \frac{4l-x}{V} \right) + \dots \right], \quad (6)$$

where  $1(\cdot)$  is the Heaviside function. It is obvious that the time diagram of expression (6) coincides with Fig. 1. It should be noted that for  $U_0 = 1$  the obtained solution is a transient characteristic of the line and it may be used for the calculation of processes in line by the Duhamel integral. As it may be seen on fig. 1 maximal voltage in the line arises to  $2U_0$ .

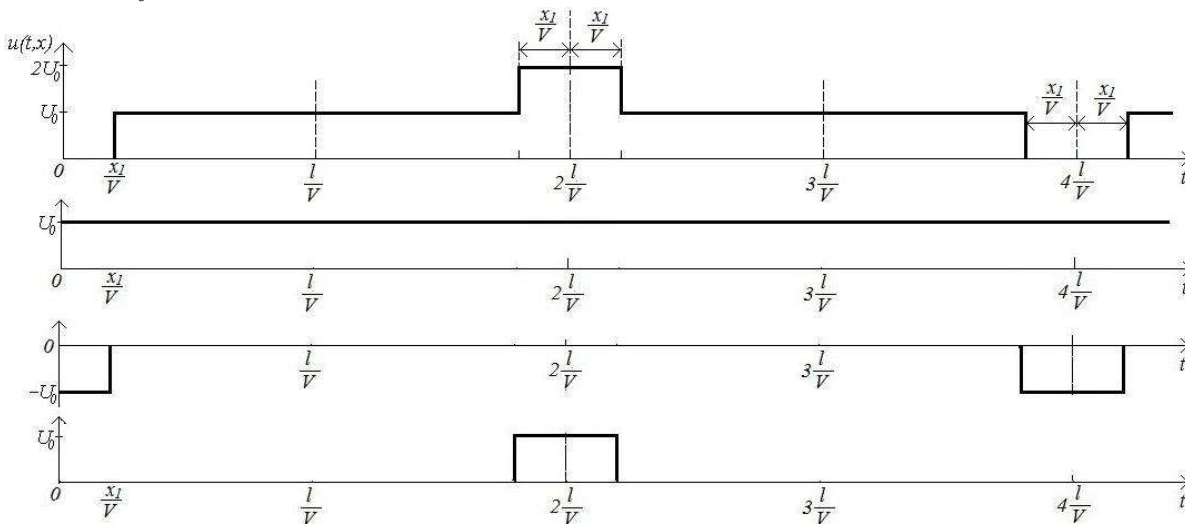


Fig. 1. Formation of the time-domain voltage diagram in the breaking line

The operator method can also be used in analyzing the effect of shielding the electromagnetic field [7]. A clear interpretation of the process can be obtained with the aid of a lattice diagram (Fig. 2) [4]. Here, the wave with the electric field strength  $E_0$  falls from the region of space **I** to the conducting screen **II** at an angle  $\alpha$ . In this case, the wave is partially reflected, partially penetrates the screen, where partial absorption takes place, secondary reflection from the screen boundaries and partial passage into the region of space **III**. The screening gate is expressed by the ratio of the field strengths in regions **III** and **I**

$$S = E_{III} / E_I$$

Solving the system of telegraph equations for the line interpreting region II by the d'Alembert method [5], it can be shown that the field in region I is a superposition of the incident wave  $E_0$  propagating in the direction of positive  $x$ , reflected wave  $E_2$ , and refracted waves  $E_{2+4n}$ :

$$E_I = E_0 \left[ 1 - \left( r_{12} + q_{21} r_{21} q_{12} e^{-2\gamma h} + r_{21}^3 q_{21} q_{12} e^{-4\gamma h} + \dots \right) \right].$$

In region III, superposition of refracted waves transmitted through the screen takes place

$$E_I = E_{4n} = E_0 \left( q_{12} q_{21} e^{-\gamma h} + r_{21}^2 q_{12} q_{21} e^{-3\gamma h} + \dots \right)$$

If medium I and II is a dielectric (for example, an air) with parameters  $\mu_1$  and  $\varepsilon_1$ , then the process can be represented as the inclusion of a function  $E_0$  in a line with losses (Fig. 3), the parameters of which are equal to  $\mu_2$  and  $\sigma_2$ . An ideal line of infinite length with parameters  $\mu_1$  and  $\varepsilon_1$ , is connected to this line. Taking into account the coefficients of reflection and refraction between regions

$$r_{12} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad r_{21} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_2 + Z_1}, \quad q_{12} = 1 - r_{12} = \frac{2Z_1}{Z_2 + Z_1}, \quad q_{21} = 1 - r_{21} = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}.$$

the screening gate is expressed by the formula

$$S = \frac{1}{\operatorname{ch} \gamma h + \frac{1}{2} \left( \frac{Z_1}{Z_2} + \frac{Z_2}{Z_1} \right) \operatorname{sh} \gamma h}, \quad (7)$$

where  $\mu_1$  and  $\varepsilon_1$  – is the operator field propagation constant in the screen,  $Z_1$  and  $Z_2$  – are the wave impedances of the dielectric and screen regions, respectively.

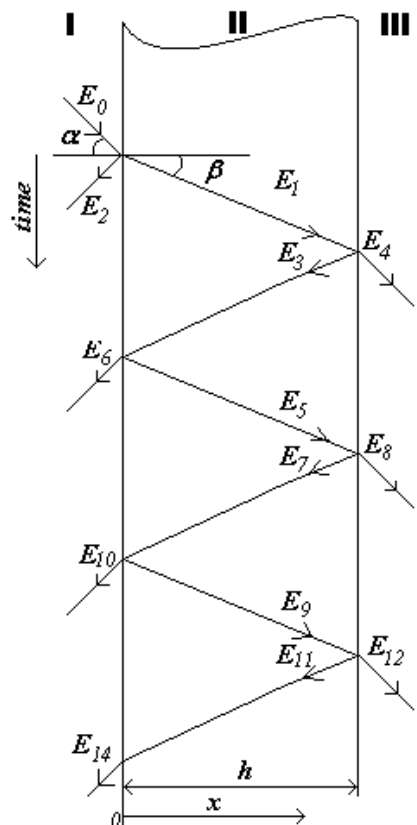


Fig.2. Lattice diagram of the traveling waves in screen

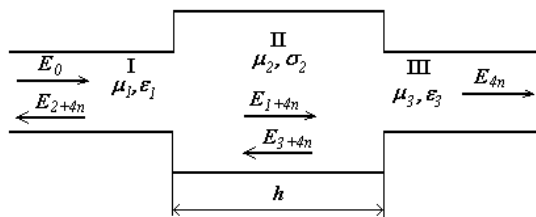


Fig. 3. Formatting line model of the screen

Thus, the process of field formation in various regions of space and in the screen is an interference pattern of traveling waves formed by reflections and refractions of the field in the screen.

#### References

1. Zernov N.V., Karpov V.G. Theory of Radioengineering Circuits. – Energia, Leningrad Department, 1972. – 816 p. (in Russian).
2. Zeveke G.V., Ionkin P.A. Basis of the Ccircuit Theory. – M.: Energia, 1975. – 752 p. (in Russian).
3. Shostak R.Ya. Operational Calculus Short course. – M.: Vysh. shkola. – 1972. – 280 p. (in Russian).
4. P. W Smith. Transient Electronics: Pulsed Circuit Technology 1st Edition, Wiley, 2002. – 288 p.
5. Kontorovitch M.I. Operational Calculus and Processes in Rradioengineering Circuits. – M.: Nauka, 1964. – 328 p. (in Russian).
6. Voloshchuk Yu. I. Signals and Processes in Radioengineering. Pidruchnik dla studentiv vishch. navch. zakladiv. Kharkiv: TOV "Company CMIT", Vol.1, 580 p, (2003).(in Ukrainian).
7. Kalikhman L.E. Methods of Electromagnetic Screens Calculation. Vysokovotnaya impulsaia tehnika. Mezhevuzovskii sbornik. – Cheboksary. 1980. – pp. 33-44. (in Russian).

**STANDING OUT OF DIGITAL SIGNALS BY MEANS  
OF NONLINEAR STOCHASTIC FILTRATION**

*Annotation - Analysis results of noise immunity of digital communication systems using methods of nonlinear filtering are given. Nonlinear filtration is based on stochastic resonance effect. The stochastic resonance is given to a phenomenon that is manifest in nonlinear systems where by generally feeble input information (such as a weak signal) can be amplified and optimized by the assistance of noise.*

*Numerical simulation of response at affecting input of the system on additive mixture of harmonic signal and white Gaussian noise are given. Use of a nonlinear stochastic filtration allows reducing significantly output noise, but the form of a output signal significantly differs from harmonious. It indicates on the nonlinearity of this system. Amplitude spectrum of output signal has been investigated. Results of calculation of the output signal-to-noise ratio of the stochastic filter for the additive sum of a harmonic signal and white Gaussian noise for different values of the input noise dispersion are given. It is shown that the output signal-to-noise ratio of the system will peak at a certain value of noise intensity under a action of the input signal and noise.*

*The comparative analysis of noise immunity of the matched filter and nonlinear stochastic filter for input square pulses are given. The effects of signal distortions in nonlinear processing with a stochastic filter are considered.*

*It is shown that it is possible to efficiently extract a digital signal from an additive mixture with Gaussian noise of high intensity.*

**Keywords:** *stochastic resonance, signal-to-noise ratio, nonlinear stochastic filter, matched filter, digital signal, white Gaussian noise.*

O.I. ХАРЧЕНКО

Харківський Національний Університет Радіоелектроніки  
dthnbycrbq@gmail.com**ВИДІЛЕННЯ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ  
НЕЛІНІЙНОЇ СТОХАСТИЧНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ**

**Анотація** - Наведено результати аналізу завадостійкості цифрових систем зв'язку з застосуванням методів нелінійної фільтрації. Розглянуто стохастичний фільтр на основі ефекта стохастичного резонансу. Наведено результати розрахунку вихідного відношення сигнал/шум при дії на вхіді фільтра адитивної суміші прямокутного імпульса та білого гаусівського шуму. Проведено порівняльний аналіз завадостійкості узгодженого фільтра і стохастичного фільтра в разі прямокутних імпульсів на вході. **Ключові слова:** стохастичний резонанс, співвідношення сигнал/шум, нелінійний стохастичний фільтр, цифровий сигнал, білий гаусівський шум.

At present time digital communication systems are widely used in assessment of parameters of signals, in telecommunication systems. One advantage of digital information is that it tends to be far more resistant to transmitted and interpreted errors than information symbolized in an analog medium [1, 2, 3].

The search of new methods of signal processing on a background intensive Gaussian noise urged on development of vehicle of stochastic filtration, that is based an stochastic resonance effect.

Stochastic resonance (SR) is a nonlinear physical phenomenon in which the output signals of some nonlinear systems can be enhanced by adding suitable noise under certain conditions [4]. The SR effect characterizes the response of the nonlinear system on a weak input signal. Thus data-output of the nonlinear system, such as signal-to-noise ratio, at certain terms have the distinctly expressed maximum

The equation describing SR effect is given by [4, 5]

$$dy / dt = y(t) - y^3(t) + x(t), \quad (1)$$

where  $x(t) = s(t) + n(t)$  - is an input process being additive mixture of desired signal and normal noise;

$y(t)$  - output signal.

Consider a rectangular impulse  $s(t)$  as a useful input signal. It is known that the model of a rectangular impulse is basic in the theory of information and coding [1, 2, 3].

Numerical solution of the equation (1) illustrates effective standing out of pulse signals from the signal-high intensive noise mixture (Fig. 1). The signal-to-noise ratio (SNR) becomes much higher at the output of a SR filter than at its input.

Filtration in the transmitter and the channel usually leads to distortion of the impulses sequence caused by an intersymbol interference, therefore, these symbols can't be allocated and detected [6]. The accepting filter has to



restore an impulse with the greatest possible SNR and without intersymbol interference. Such filter is the matched filter (MF) which is widely used in digital communication [7].

The comparative analysis of the output SNR of MF and CR are shown in Fig.2 at various pulse duration. It is evidently visible, that SR filter provides higher value of the output SNR in comparison with MF.

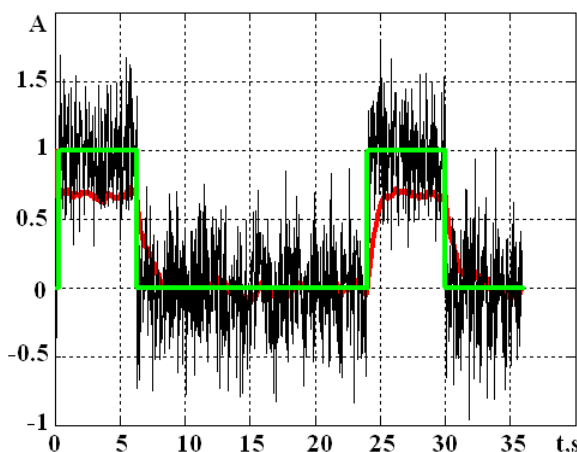


Fig. 1. Dependence of a useful digital signal (green line), additive mixture of a signal and noise (black line), a signal at the exit (red line). Pulses duration – 6 s, the input SNR = 10 (on power).

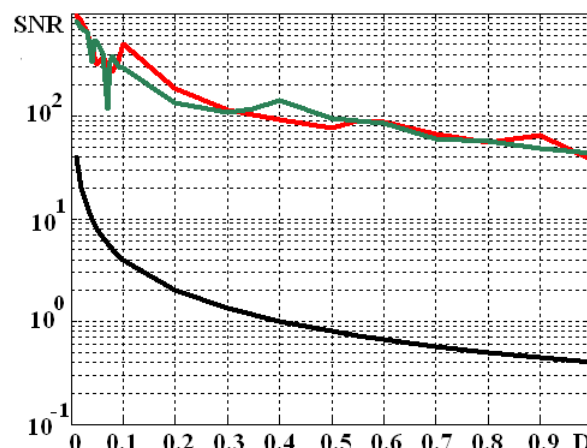


Fig. 2. SNR dependence the SF (red line-duration rectangular pulse  $T = 5s$  ; green-  $T = 6s$ ) and the MF (black line -  $T = 5s$ ) on an input noise dispersion

It is shown that it is possible to efficiently extract a digital signal from an additive mixture with Gaussian noise of high intensity. Increase of signal separation efficiency at high frequency it is possible to achieve frequency displacement to other area. In [8] the justification is given for transposing the frequency characteristics of the filter to any frequency range. This allows you to get rid of the constraint that is superimposed on the stasis filter as solely on a low-pass filter [4]

It is shown that stochastic filtration is accompanied by nonlinear distortions of the input signal.

Use of effect of SR to rectangular pulses showed advantage in comparison with the MF which is widely applied in digital communication. The stochastic resonance effect provides more efficient separation of the digital signal from the additive mixture with Gaussian noise it is shown also.

### References

1. Sklar B. Digital communication. Fundamental and Application. Second Edition. University of California, Los Angele, 2001. – 1104 p.
2. Hansen A.D. Personal communication networks. Practical implementation/ Artech House/ Boston – London. 1995.
3. James Irvine, David Harle. Data Communications and Networks: An Engineering Approach 2001. – 288c.
4. Anishchenko V.S., Boev Ya.I., Semenova N.I., Strelkova G.I. Local and global approaches to the problem of Poincaré recurrences. Applications in nonlinear dynamoics // Physics Reports. 2015. doi:10.1016/j.physrep.2015.05.004.
5. Leonardo Barbini; Matthew O. T. Cole; Andrew J. Hillis; Jonathan L. du Bois. Weak signal detection based on two dimensional stochastic resonance // 2015 23rd European Signal Processing Conference (EUSIPCO) Year: 2015, P. 2147 – 2151, IEEE Conferences.
6. Radiotekhnika: Ensiklopedia [Radio engineering: Encyclopedia.], Pod .red. Yu. L. Mazora, E.A. Machusskogo, E.A, V.I. Pravdy, M.: “Dodeka-XXI”, 2002, 944 p. .(in Russian).
7. Voloshchuk Yu. I. Signals and processes in radioengineering. Pidruchnik dla studentiv vich. navch. zakladiv. Kharkiv: TOV “Company CMIT”, Vol.3, 228p, (2005).(in Ukrainian).
8. Q. He, J. Wang. Effects of multiscale noise tuning on stochastic resonance for weak signal detection // Digital Signal Processing 22 (2012) 614-621.

<sup>1</sup>О. КАЛЬВАТИНСЬКИЙ, <sup>2</sup>С. ФРИЗ<sup>1</sup>Центр прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля, Хмельницька область, с. Залісці<sup>2</sup>Житомирський військовий інститут ім. С. П. Корольова

м. Житомир

kalvat22@gmail.com

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИЙМАЛЬНИХ АНТЕН ДЛЯ ПРИЙОМУ СПЕЦІАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ВІД КА ТИПУ CUBSAT В X-ДІАПАЗОНІ

**Анотація.** У доповіді проведено аналіз космічних апаратів (КА) дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) типу CUBESAT щодо можливостей систем передавального обладнання цільової інформації. Проведено оцінку ефективності застосування приймальних антен з різними діаметрами рефлектора. Досліджено вплив типу бортової передавальної антени на мінімальні кути місця прийому цільової інформації.

**Ключові слова:** космічний апарат, CUBESAT, дистанційне зондування Землі, бортовий передавач, приймальна станція, мінімальні кути місця прийому інформації.

<sup>1</sup>A. KALVATYNSKIY, <sup>2</sup>S. FRYZ

## STUDY OF EFFICIENCY OF DIFFERENT ANTENNAS APPLICATION FOR THE RECEIVING OF SPECIAL INFORMATION FROM THE SATELLITES TYPE OF CUBESAT IN X – BAND

<sup>1</sup> CSIRP and NFC, State Space Agency of Ukraine, Khmelnytsky region, v. Zalisci<sup>2</sup>Zhitomir military institute, Zhitomir

kalvat22@gmail.com

**Annotation.** The article is the radio links of the target information of the space remote sensing systems (Earth remote sensing) from spacecraft of the CUBESAT type. The aim is to study the effectiveness of receiving antennas of different diameters, namely, changing the information receiving zone. The goal: to develop a mathematical for determining the minimum reception angles of the target information, taking into account the directional pattern and the flaps of the maximum of the diagram from the direction to the receiving station. Determine the minimum angles of the receiving location of the target information with a given error probability per bit of information ( $<10^{-7}$ ) under the condition of different types of on-board transmitting antennas and receive antennas of different diameters. The methods used are: synthesis, mathematical modeling and graphical analysis of the results obtained. The following results are obtained. When using a transmitting helical antenna, the minimum reception angles with a given error probability per bit of information  $<10^{-7}$  are less by 100 than using a patch antenna. But the value of signal to noise ratio (S/N) when using a helical antenna is dominated by a patch antenna at elevation angles greater than 640, subject to rotation in the direction of the receiving station. When using reflectors with a diameter of 5 m, it is possible to receive information with a specified error probability only for elevation angles greater than 23.50. Thus, the use of reflectors with a diameter of 12 m will significantly increase the possibilities for surveying the Earth's surface due to a longer session of receiving special information. Analysis of the technical characteristics of modern on-board components of spacecraft like CUBESAT has demonstrated the promise of using such spacecraft for environmental monitoring. The study of the CUBESAT satellite radio link was carried out taking into account the directional pattern of the on-board transmitting antenna of the target radio link, using a mathematical model created by the author. Using a patch antenna in comparison with a helix antenna makes it possible to extend the information receiving area with specified quality indicators by 100 by the elevation angle.

**Keywords:** spacecraft, CUBESAT, remote sensing of the Earth, onboard transmitter, receiving station, minimum angles of the information receiving area.

Сучасні тенденції розвитку космічних систем спрямовані на зменшення маси КА. Згідно звітів NASA [1,2], оператори космічних систем зацікавлені в експлуатації низькоорбітальних КА з масою меншою 180 кг. При цьому, як показує досвід останніх років, найбільша зацікавленість у комерційних операторів космічних систем є у використанні КА, створених за технологією CUBESAT. Це пов'язано з низькою вартістю розробки, створення, запуску та експлуатації таких КА. Мала маса КА CUBESAT (10-12) кг спонукає до використання радіоліній з меншою потужністю бортового передавача при високій швидкості передачі даних (понад 200 Мбіт/с) та ймовірності похибки прийнятої інформації  $P_{ош}=10^{-7}$ .

Тому доцільним є дослідження ефективності використання приймальних антен з різним діаметром рефлектора (5 -12) м з метою оцінки мінімальних кутів місця прийому інформації з ймовірністю похибки  $P_{ош}<10^{-7}$ . Важливим фактором для оцінки мінімальних кутів місця прийому інформації є вид діаграми спрямованості передавальної бортової антени (форма, максимальний коефіцієнт підсилення тощо). Діаграма спрямованості бортової передавальної антени має вплив на мінімальні кути місця прийому інформації від космічної системи, відповідно впливає на кількість отриманої інформації від КА.

Також актуальним є дослідження ефективності використання наземних антенних систем з різним діаметром рефлектора для прийому цільової інформації від КА PLANET LAB при різних модуляціях та швидкостях передачі даних. При цьому враховується діаграма спрямованості передавальної бортової антени. За основу досліджень взяті технічні характеристики передавачів X – діапазону які створені для КА

типу CUBESAT при умові використання стандарту DVB – S2 [3] та технічні характеристики приймальних станцій.

З 2013 року на орбіту виведено понад 200 КА ДЗЗ типу CUBESAT, більшість з яких є комерційними. У операторів космічних систем виникла серйозна проблема щодо здійснення прийому інформації з цих КА, причиною якої є відсутність необхідної кількості наземних приймальних станцій [1]. Зокрема в [1,7] вказано, що для якісного прийому інформації необхідні станції з діаметром рефлектора не менше 5 м. Але цікавим є факт, що відсутні теоретичні дослідження щодо можливості використання приймальних антен з більшим діаметром та ефективності використання їх. Для цих досліджень необхідні знання технічних характеристик бортового передавального обладнання. Відомо, що французька компанія SYRLINKS [1] розробила та створила ряд передавачів для швидкісної передачі даних в X – діапазоні для мікросупутників та наносупутників. Передавач КА PLANETLAB має характеристики, які наведені у табл. 1 [3].

**Таблиця.1 Характеристики бортового передавача X - діапазону**

Назва характеристики	Величина
Потужність передавача, Вт	2
Несійна частота, МГц	8133;8200;
Максимальна ширина спектру сигналу, МГц	66,84
Стандарт передачі даних	DVB-S2

Аналіз технічних характеристик сучасних бортових складових елементів КА типу CUBESAT показав перспективність використання таких КА для моніторингу навколишнього середовища [3].

Для передачі інформації використовується стандарт DVB – S2 [4]. Розраховані залежності сигнал\шум від кута місця КА при різних типах антен.

Дослідження радіолінії КА CUBESAT проводилися з врахуванням діаграми спрямованості бортової передавальної антени цільової радіолінії за допомогою математичної моделі створеної авторами.

Використання патч-антени порівняно зі спіральною антеною дозволяє розширити зону прийому інформації з заданими показниками якості на  $10^0$  по куту місця. Порівняння приймальних станцій з діаметром антени 5 м та 12 м вказує на перспективність використання рефлекторів з діаметром 12 м, які знаходяться на вітчизняній території та експлуатуються установами Державного космічного агентства України.

Використання наземних антен з діаметром рефлектора 12 м дозволить здійснювати прийом спеціальної інформації при мінімальних кутах місця  $12^0$  при умовах взятих до розрахунків (висота орбіти, потужність бортового передавача, швидкість передачі даних).

#### Література

1. Small Spacecraft Technology State of the Art. Mission Design Division Staff Ames Research Center, Moffett Field. California: July 2014.
2. CubeSat Communications System Table . [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.klofas.com/comm-table/>
3. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2), ETSI EN 302 307 V1.2.1: European Telecommunications Standards Institute, Mart 2009.
4. Planet Labs Specifications:Spacecraft Operations & Ground Systems. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.rsgis.ait.ac.th/main/wp-content/uploads/Planet-Labs-Spacecraft-Ops.pdf>
5. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория : справочник. / Под ред. Я.Д. Ширмана. – изд 2-е, перераб. и доп. – М. : Радиотехника, 2007. – 512 с.
6. Ziemer, Rodger E. Principles of communication : systems, modulation, and noise / Rodger E. Ziemer, William H. Tranter. – Seventh edition, California : A JOHN WILEY & SONS, INC., 2014. – 746 p.
7. Фриз С. П. Використання синфазних антенних решіток для прийому інформації від космічних апаратів з малим рівнем випромінювання у напрямку приймальної станції / О. В. Кальватинський, П. П. Топольницький, С. П. Фриз // Озброєння та військова техніка: науково-технічний журнал. – К.: ЦНДІ ОБТ ЗС України. – 2015.– вип. 3(7). – С. 44 – 51.

#### References

1. Small Spacecraft Technology State of the Art. Mission Design Division Staff Ames Research Center, Moffett Field. California: July 2014.
2. CubeSat Communications System Table . [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.klofas.com/comm-table/>
3. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2), ETSI EN 302 307 V1.2.1: European Telecommunications Standards Institute, Mart 2009.
4. Planet Labs Specifications:Spacecraft Operations & Ground Systems. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.rsgis.ait.ac.th/main/wp-content/uploads/Planet-Labs-Spacecraft-Ops.pdf>
5. Radioelectronnie sistemi: Osnovi postroenia i teoria : spravochnik. / Pod red. Ya.D. Shirmana. – izd 2-e, pererobot. i dop. – M. : Radiotekhnika, 2007. – 512 s.
6. Ziemer, Rodger E. Principles of communication : systems, modulation, and noise / Rodger E. Ziemer, William H. Tranter. – Seventh edition, California : A JOHN WILEY & SONS, INC., 2014. – 746 p.
7. Fryz S. P. Viktoristannja sinfaznih antenih reshitok dlja prijomu informaciyi vid kosmichnyh aparativ z malym rivnem viprominennya u napryamku priymalnoi stancii / O. V. Kalvatyunskiy, P. P. Topolnitskiy, S. P. Fryz// Ozbroyennja ta vijskova tehnika: naukovo-technichniy zhurnal. – K.: CNDI OVT ZSU. – 2015.– vip. 3(7). – s. 44 – 51.

## ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

**Анотація.** Розглянуто методи знезараження захищеного ґрунту. Показана можливість застосування електротермічної обробки захищеного ґрунту, особливості і переваги даного методу обробки.

**Ключові слова:** фітопатогени, знезараження ґрунту, електродне знезараження, стерилізатор ґрунту.

V.O. Strizh, M.S. Pryhodko, O.V. Ryasna  
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
energeticus@gmail.com

## ELECTROTECHNOLOGIES OF PROTECTED SOIL UNCERTAINTY

**Annotation.** Plant disease - is a violation of the normal structure and metabolism of cells, organs and an entire plant under the influence of phytopathogens. Phytopathogen, penetrating into plants, violates the normal process of life, which dramatically reduces yields or impairs the quality of products. The yield due to the disease may decrease by 40-50%. Soil is the main source of propagation and living of diseases and plant pests. Therefore, in the construction of cultivated soil protected soil is replaced in 2-4 years, which requires high costs. The most effective and economically feasible way to control pests and plant diseases is by thermal decontamination of protected soil. Soil disinfection with electric current is one of the most effective and economically feasible methods of soil treatment. In this method of decontamination, metal plate electrode placed in the ground, connected directly to the electrical network. Electric current, passing through the soil, serves not only as a source of thermal energy, but also a factor in the action of microorganisms and pests in the soil. The time of electrode disinfection of protected soil is much less and is 60-90 s. In addition, the electrode method of decontamination in comparison with the chemical is environmentally safe. Soil can be used immediately after decontamination. The process itself is easily controlled and can be automated. The fatal influence on pests and plant diseases occurs at temperatures below 20-30 ° C from the temperatures of decontamination due to the action of electric current passing through the soil.

The conducted experiments showed that as a result of electrothermal treatment of soil, the nitrate nitrogen content increases by 1.5 times, and also increases the content of ammonia nitrogen, which positively affects the growth of plants, on the basis of which it can be concluded that there is only disinfection and disinsection of the soil, but complex compounds of nutrients are decomposed into more simple, which ensures their better assimilation. Other soil parameters remain normal or increase slightly. In almost all experiments, the value of the thermometers was taken 5 minutes after the voltage was removed.

As a conclusion, we can note the following: provides: 1. Electrothermal disinfection of soil is the most economically feasible method of disinfecting soil; 2. The use of disk electrodes provides the required speed of soil treatment; 3. Remote control of the installation provides safe conditions for its use for workers; 4. Potential possibility of complete automation of the decontamination process.

**Keywords:** phytopathogens, disinfection of soil, electrode disinfection, soil sterilizer.

Хвороба рослини - це порушення нормальної будови і обміну речовин клітин, органів і цілої рослини під впливом фітопатогенів. Фітопатоген, проникаючи в рослини, порушує нормальний процес життєдіяльності, що різко знижує врожайність або погіршує якість продукції. Врожайність через хворобу може знизитися на 40-50 % [1]. Ґрунт є основним середовищем розмноження і мешкання хвороб і шкідників рослин. Тому в спорудженнях культивацій захищеного ґрунту замінюють ґрунт через 2-4 року, що вимагає великих витрат. При сильному зараженні ґрунт доводиться міняти щорічно. Економічні розрахунки показують, що часто буває доцільніше здійснювати перенесення теплиці на нове місце, чим щорічно міняти в ній ґрунт. Найбільш ефективний спосіб боротьби з шкідниками і хворобами рослин полягає в термічному знезараженні захищеного ґрунту [2], [5], [6], [7], [8].

Знезараження ґрунту відбувається багатьма методами і один з найефективніших - за допомогою електричного струму. Він відрізняється порівняно високою ефективністю і економічною доцільністю. При цьому способі знезараження металеві пластинчасті електроди, поміщені в ґрунт, підключають безпосередньо до електричної мережу. Електричний струм, проходячи через ґрунт, служить не лише джерелом теплової енергії, але і чинником дії на мікроорганізми і шкідників, що знаходяться в ґрунті. Час електродного знезараження захищеного ґрунту значно менше і складає 60-90 с. Крім того, електродний спосіб знезараження в порівнянні з хімічним екологічно безпечний. Ґрунт можна використовувати відразу ж після знезараження. Сам процес легко контролюється і може бути автоматизований. Летальний вплив на шкідників і хвороби рослин відбувається при температурах, менших на 20-30 °С від температур знезараження завдяки дії на них електричного струму, що проходить через ґрунт.

Проведені досліді [4] показали результати вплив електротермічної обробки ґрунту в результаті чого вміст нітратного азоту збільшується в 1,5 разу, також зростає вміст амонійного азоту, що позитивно впливає на ріст рослин. Інші елементи ґрунту залишаються в нормі або збільшуються незначно. Майже в усіх дослідіх значення термометрів бралися через 5 хвилин після зняття напруги.

Установка для электродного знезараження ґрунту являє собою електроди з листової сталі з розташованими один від одного на певній відстані. Ґрунт зволожується до 30 % вологості, після чого завантажується в установку і на електроди подається напруга 220 В промислової частоти [3]. Електродне знезараження ґрунту в цій установці не знайшло широкого застосування через велику трудомісткість, яка полягає в тому, що ґрунт необхідно діставати з теплиці, транспортувати до місця знезараження і знову завозити в теплицю. Крім того, існує ризик повторного зараження ґрунту. Також була створена одна з найбільш вданих мобільних установок для електротермічного знезараження ґрунту [4]. Дискові електроди цієї установки виконані з нержавіючої сталі і ізольовані від валу ізоляційними втулками, в ізоляційній плиті зроблені прорізи для установки електродів. Робота цієї установки полягає у наступному. За два дні до обробки ґрунт зволожують до 40 % вологості і перевіряють готовність стерилізатора до роботи. Включенням електроприводу створюється обертальний рух електродів, які занурюються в ґрунт. Одночасно відкривається кран, і вода через розподільний колектор стікає великими краплями по поверхні електродів, забезпечуючи контакт між електродами і ґрунтом. Після заглиблення електродів на них подається напруга. Час обробки ґрунту залежить від його структури і вологості. При нагріві ґрунту до температури 80 °С вмикається електропривід і стерилізатор переміщається на нове місце обробки. Потім процес повторюється. Живлення електродів здійснюється при по потужності струмоземного пристрою, що включає набір струмоземних кілець і щіткотримачів. Управління здійснюється тумблерами, встановленими на корпусі стерилізатора. Установка дозволяє знезаражувати ґрунт безпосередньо в теплиці [2], [5], [6], [7], [8].

**Висновки.** Установка електротермічного знезараження ґрунту забезпечує: 1. Найбільш економічно доцільний метод знезараження ґрунту; 2. Використання дискових електродів забезпечує необхідну швидкість обробки ґрунту; 3. Дистанційне керування установкою забезпечує безпечні умови її використання для робітників; 4. Потенційну можливість повної автоматизації процесу знезараження.

#### Література

1. Защита растений от вредителей: учебное пособие / под ред. В.В. Исаичева. - М. Колос, 2002. - 472 с.
2. Толбатов А.В. Автоматизация расчетов баланса гумуса та поживних речовин в ґрунті / Н.Б. Пасько, А.В. Толбатов, О.Б. В'юненко та ін. // Міжнародний науково-технічний журнал "ВОТТІ". – Хмельницький, 2017. – №4. – С. 109–118.
3. Прищеп, Л.Г. Эффективная электрификация защищенного грунта: учебное пособие / Л.Г. Прищеп. - М.: Колос, 1980. - 76 с.
4. Каламкалиев М.Х. Исследование условий электродного применения нагрева почвы / М.Х. Каламкалиев, Л.А. Баранов // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. - 1981. - № 3. - С. 84-87.
5. Толбатов В.А. Организация систем энергосбережения на промышленных предприятиях : навч. пос. / В.А. Толбатов, І.Л. Лебединський, А.В. Толбатов / – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 195 с.
6. Толбатов А.В., Толбатов В.А. Методологія створення бази знань життєвого циклу автономних енергогенеруючих установок // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2008. – № 1. – С. 140–146.
7. Толбатов А.В. Научное окружение современного человека: Экономика, Менеджмент, Медицина и фармацевтика, Химия, Биология, Сельское хозяйство, География и Геология : монография / [авт.кол. : Львович И.Я., Н.М.Орлов, Преображенский А.П., Толбатов А.В., Чопоров О.Н. и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 175 с.
8. Толбатов В.А. Научное окружение современного человека: Техника и технологии : монография / [авт.кол. : И.Я.Львович, А.П.Преображенский, В.А.Толбатов, И.Ф.Червоний, О.Н.Чопоров и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 181 с.

#### References

1. Zashchita rasteniy ot vreditel'ey: uchebnoe posobie / pod red. V.V. Isaicheva. - M. Kolos, 2002. - 472 s.
2. Tolbatov A.V. Avtomatyzatsiya rozrakhunkiv balansu humusu ta pozhyvnykh rechovyh v hruntі / N.B. Pasko, A.V. Tolbatov, O.B. V'yunenko ta in. // Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal "VOTTP". – Khmelnytskyi, 2017. – №4. – S. 109–118.
3. Prischep, L.G. Effektivnaya elektrifikatsiya zaschischennogo grunta: uchebnoe posobie / L.G. Prischep. - M.: Kolos, 1980. - 76s.
4. Kalamkaliyev M.H. Issledovanie usloviy elektrodnoy primeneniya nagreva pochvy / M.H. Kalamkaliyev, L.A. Baranov // Vestnik selskohozyaystvennoy nauki Kazahstana. - 1981. - № 3. - S. 84-87.
5. Tolbatov V.A. Orhanizatsiya system enerhoberezhennya na promyslovykh pidpryyemstvakh : navch. pos. / V.A. Tolbatov, I.L. Lebedyn's'kyu, A.V. Tolbatov / – Sumy: Vyd-vo SumDU, 2009. – 195 s.
6. Tolbatov A.V., Tolbatov V.A. Metodolohiia stvorennia bazy znan zhyttievoho tsykladu avtonomnykh enerhoheneruiuchykh ustanovok // Visnyk Sum's'koho derzhavnogo universytetu. Seriya Tekhnichni nauky. – 2008. – № 1. – S. 140–146.
7. Tolbatov A.V. Nauchnoe okruzhenie sovremennogo cheloveka: Ekonomika, Menedzhment, Meditsina i farmatsevtika, Himiya, Biologiya, Selskoe hozyaystvo, Geografiya i Geologiya : monografiya / [avt.kol. : Lvovich I.Ya., N.M.Orlov, Preobrazhenskiy A.P., Tolbatov A.V., Choporov O.N. i dr.]. – Odessa: KUPRIENKO SV, 2018 – 175 s.
8. Tolbatov V.A. Nauchnoe okruzhenie sovremennogo cheloveka: Tehnika i tehnologii : monografiya / [avt.kol. : I.Ya.Lvovich, A.P.Preobrazhenskiy, V.A.Tolbatov, I.F.Chervoniy, O.N.Choporov i dr.]. – Odessa: KUPRIENKO SV, 2018 – 181 s.

С.В. СІДЕНЬ, Р.А. ФОКІН

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова  
ssidens1@liev.com, alkor13373721@gmail.com**НИЗЬКО-ПРОФІЛЬНА ШИРОКОСМУГОВА ДИСК-КІЛЬЦЕВА АНТЕНА**

*Анотація: Представлені топологія та описані основні характеристики широкосмугової низько-профільної диск-кільцевої антени, отримані на основі комп'ютерного моделювання. Основними особливостями антени є її широкосмугові властивості (2.2...6 ГГц), як по вхідному імпедансу, так і по характеристикам спрямованості (коефіцієнту спрямованої дії та діаграмі спрямованості). Крім того антена має відносно малі розміри та достатньо проста у реалізації.*

*Ключові слова: UWB, антени, низько-профільні антени, антенне моделювання*

SIDENS.V., FOKINR.A.

O.S. Popov Odessa national academy of telecommunication  
ssidens1@liev.com, alkor13373721@gmail.com**BROADBAND LOW-PROFILE DISC-RING ANTENNA**

*Annotation: The development of modern wireless technologies leads to the need for the development of antennas that have broadband properties, both in terms of input impedance and directional characteristics (directivity, directional pattern). In addition, the antenna should be small in size and weight, and also be easy to manufacture. The topology of a low-profile broadband antenna consisting of a thin ring in the inner region of which, in the plane of the middle section of which, a disk 1 mm thick is disposed. All elements of the antenna are made of a good conductive material. The antenna is powered in the region of the minimum distance between the ring and the disk by a coaxial line. The presented results are obtained by calculating electrodynamic parameters based on the computer simulation in the environment of the FEKO software complex. The principle of the calculation module is based on solving the diffraction problem by the method of moments. The problem of determining the amplitude-phase distribution of surface currents on antenna elements is reduced to solving a system of linear algebraic equations. On this basis, the amplitude distribution of fields in the far field and the directivity coefficient were calculated, and the frequency dependences of the input impedance and the modulus of the reflection coefficient at the antenna input were determined. As shown by the results of numerical analysis and experiment - this antenna has wideband properties both in terms of input impedance and directional pattern. For the investigated modifications, the operating range lies in the range from 2.2 to 6 GHz. One of the main features and advantages of this antenna is the possibility of its optimization when coordinated with the supply line by changing the width of the ring and / or the distance between it and the disc. It should also be noted the simplicity in the manufacture of antennas and relatively small dimensions.*

*Keywords: UWB, antennas, low-profile antennas, antenna modelling*

Однією з основних тенденцій розвитку сучасних бездротових засобів зв'язку є підвищення якості послуг, що надаються, а саме зростання швидкості і обсягів передачі даних. Окремо варто виділити технологію бездротового зв'язку UWB, яка дозволяє на малих відстанях при низьких витратах енергії передати сигнал зі швидкістю до 480 Мбіт / с при використанні смуги частот не менше 500 МГц [1].

Обов'язковим елементом бездротової системи зв'язку є антена, яка повинна володіти заданими властивостями в усьому робочому діапазоні частот. Зокрема, стає актуальною задача створення широкосмугових антен, що володіють необхідними властивостями, як по вхідному опору, так і характеристикам спрямованості (КНД, діаграма спрямованості.) в широкому діапазоні частот.

У той же час, у багатьох випадках необхідно забезпечити компактні габарити і простоту реалізації антени. Тому створення таких антен становить значний науковий і практичний інтерес.

**Геометрія моделі.** Досліджувана антена складається з двох основних елементів – тонкого кільця з добре провідного матеріалу шириною  $h$  і радіусом  $R_1$ , у внутрішній області якого, в площині його середнього перетину, розташований диск радіусом  $R_2$ . Геометрія моделі проілюстрована на рис. 1.

Центр диска зміщений щодо центру, внаслідок чого ширина щілини між кільцем і диском є змінною. Диск з'єднаний з кільцем і джерелом живлення тонким провідником. Живлення антени здійснюється в області мінімальної відстані між кільцем і диском коаксіальної лінії.

Основні параметри моделі представлені нижче: радіус кільця:  $R_1 = \tau R_0$ ; радіус диска:  $R_2 = \tau R_1$ ; мінімальна ширина кільця  $h$ ; мінімальна ширина щілини між кільцем і диском  $d$ ; поперечний розмір провідника  $l$  мм.

Основні параметри моделі представлені нижче: радіус кільця:  $R_1 = \tau R_0$ ; радіус диска:  $R_2 = \tau R_1$ ; мінімальна ширина кільця  $h$ ; мінімальна ширина щілини між кільцем і диском  $d$ ; поперечний розмір провідника  $l$  мм.

Досліджено декілька конструктивних варіантів; з метою коректного порівняння параметрів антени прийнято наступні значення основних параметрів:  $R_0 = 0,25\lambda_{\max}$ , де  $\lambda_{\max}$  довжина хвилі у вільному просторі,

яка відповідає частоті  $f_0 = 2$  ГГц,  $h = 4, 6, 8$  мм та  $d = 0, 5; 1; 1, 5$  мм.

Представлені результати отримані шляхом розрахунку електродинамічних параметрів за допомогою чисельного моделювання. Принцип роботи розрахункового модуля заснований на вирішенні дифракційної задачі при використанні методу моментів. Принцип методу заснований на поданні кожної з поверхонь антенних елементів у вигляді трикутних сегментів. Це дає можливість привести рішення задачі визначення амплітудно-фазового розподілу струмів на поверхнях антени до вирішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь [2]. В процесі комп'ютерного моделювання розрахунки проводилися на дискретних частотах в діапазоні від 1,5 до 7,5 ГГц з кроком 50 МГц. При дослідженні електродинамічних характеристик вирішувалося завдання визначення амплітудно-фазового розподілу (АФР) щільності струмів на поверхні її елементів. Далі були розраховані: амплітудний розподіл полів у дальній зоні і коефіцієнт спрямованої дії.

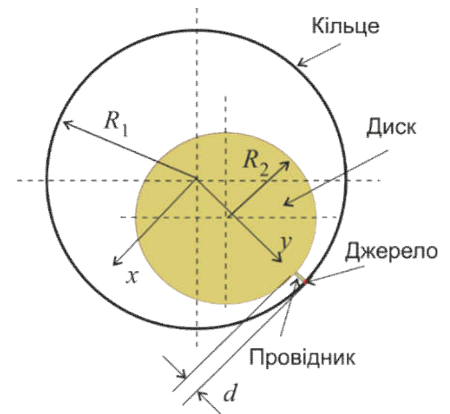


Рис. 1 – Геометрія моделі

**Результати дослідження.** Широкопasmові властивості антен за узгодженням прийнято оцінювати частотною залежністю модуля коефіцієнта відбиття  $|S_{11}|$  на вході антени.

$$S_{11}(f) = \left| \frac{\dot{Z}_A(f) - \dot{Z}_L}{\dot{Z}_A(f) + \dot{Z}_L} \right|, \quad (1)$$

Однією з основних особливостей і переваг досліджуваної антени є можливість її оптимізації при узгодженні з лінією живлення за рахунок зміни ширини кільця і / або відстані від між ним і диском. При цьому, зміна даних параметрів моделі незначно впливає на її діаграму спрямованості і величину КНД. В широкому діапазоні частот (2.2 ... 6 ГГц)  $|S_{11}|$  має значення нижче -10 дБ, що означає добре узгодження з лінією живлення. Смуга робочих частот по КНД, визначена на рівні -3 дБ лежить в діапазоні 2...6 ГГц.

**Висновки.** У роботі описана топологія і описані електродинамічні характеристики низькопрофільної широкопasmової диск-кільцевої антени. Як показали результати чисельного аналізу і експерименту – дана антена володіє широкопasmовими властивостями як по вхідному імпедансу, так і по діаграмі спрямованості. Також слід зазначити простоту у виготовленні антени і малі масо-габаритні розміри.

#### Література

- [1] ITU - R SM.1755, Characteristics of ultra - wideband technology
- [2] С. Е. Банков, Расчет излучаемых структур с помощью FEKO / Банков С.Е., Курушин А. А. //М.: ЗАО «НПП «Родник. – 2008, – 246 с.

#### References

- [1] ITU - R SM.1755, Characteristics of ultra - wideband technology
- [2] E. Bankov and A.A. Kurushin, "Calculation of the radiated structures using FEKO", Moscow, ZAO «NPP RODNIK», 2008 (in Russian)

А.Ф. РОЗВАДОВСКИЙ

Научно-исследовательский институт радио, Россия

А.М. СПОДОБАЕВ

Самарский научно-исследовательский институт им. Ак. Королева С.П., Россия

## РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ/ЭЛЕКТРОННЫХ СБОРОЧНЫХ УЗЛОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*В работе рассмотрены различные методы испытаний электрических/электронных сборочных узлов на устойчивость к воздействию электромагнитного излучения. Показана необходимость тщательного подхода при оценке соответствия, в частности, в анализе конструктивных особенностей изделия при выборе метода испытаний.*

**Ключевые слова:** метод испытаний, электромагнитное излучение, устойчивость, электронный сборочный узел, транспортное средство.

A.F. ROZVADOVSKIY

Radio Research and Development Institute, Russia

A.M.SPODOBAEV

Samara Radio Research and Development Institute named after academician S.P. Korolev., Russia

### REALIZATION OF TEST METHODS OF ELECTRICAL/ELECTRONIC ASSEMBLY UNITS FOR SUSTAINABILITY TO INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC RADIATION

*In this work there are considered the different methods of testing electrical / electronic assembly units for resistance to electromagnetic radiation. The necessity for a careful approach in assessing compliance is shown. In particular, there is necessary the analysis of the design features of the product for choosing a test method.*

*The most common approach of electromagnetic field immunity of electronic/electrical sub-assembly (ESA) is to check the operability of a product when it is irradiated in a shielded chamber.*

*If ESA has a metallic (shielded) case, it will successfully withstand this type of test.*

*In this case, its circuit elements and nodes turn out to be screened. The conductive disturbances in the connecting lines and power wires are created only by that part of the electromagnetic waves which irradiated these conductors. The energy of electromagnetic interference is "distributed" over the body of the product and its wires and cables.*

*If connecting lines and / or power circuits are subjected to testing for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy, the result may be different from testing of electromagnetic radiation inside the shielded chamber.*

*One of the reasons for this difference in test results is that when injecting a volumetric current, the main effect of electromagnetic interference is applied to the input / output ports of the product. The stability of the ESA in this case is determined not by the screening of the product as a whole, but by the implementation of its protective circuits at the inputs and outputs.*

*So, when choosing the test method of ESA immunity, their design features should be given taking into account.*

**Key words:** test method, electromagnetic radiation, stability, electronic assembly unit, vehicle.

### Введение

Современные машины и механизмы, включая транспортные средства, в настоящее время оснащаются разнообразными электрическими/электронными сборочными узлами (ЭСУ), применяемые для управления, контроля и отображения информации. При этом в процессе функционирования данных машин и механизмов, а также их отдельных узлов и агрегатов, возникают разного рода электромагнитные помехи, оказывающие влияние на нормальную работу ЭСУ.

Таким образом, возникает актуальная задача обеспечения устойчивости ЭСУ к воздействию электромагнитного излучения, с одной стороны, и качественной проверки (испытаний) ЭСУ на устойчивость к данному виду воздействия, с другой стороны.

Под «устойчивостью ЭСУ к воздействию электромагнитного излучения, в частности, в виде электромагнитных помех» подразумевается способность ЭСУ функционировать без ухудшения рабочих характеристик при наличии конкретных электромагнитных помех. Электромагнитные помехи могут представлять собой электромагнитный шум, нежелательные радиочастотные сигналы радиопередатчиков или излучение в соответствующей полосе частот работы промышленных, научных или медицинских приборов [1]. С учетом того, что речь, в данном случае, идет об элементах и отдельных технических узлах, предназначенных для установки на транспортное средство (ТС), то под ЭСУ подразумевается электрическое и/или электронное устройство или комплект устройств, которые должны составлять, вместе с любыми соответствующими электрическими соединениями и электропроводкой, часть ТС и которые выполняют одно или несколько специальных функций [1].

Актуальность задачи испытаний ЭСУ, устанавливаемых на ТС, заключается в подтверждении:

– требований в отношении устойчивости ЭСУ к излучаемым и наведенным помехам, нарушающим функции, связанные с непосредственным управлением ТС, с защитой водителя, пассажиров и других



участников дорожного движения и с помехами, которые могут дезориентировать водителя или других участников дорожного движения;

– требований в отношении подавления нежелательных излучаемых и наведенных помех в целях обеспечения защиты предусмотренной функции ЭСУ, установленного на данном ТС или ТС, находящихся рядом или поблизости, и подавления помех, вызванных вспомогательным оборудованием, которое может быть установлено на ТС [1].

В общем случае, ЭСУ подвергаются испытаниям на излучаемые и наводимые помехи, на устойчивость к излучаемым и наводимым помехам. Испытания проводят Технические службы, ответственные и аккредитованные под данный вид испытаний. Испытания на устойчивость ЭСУ к излучаемым и наводимым помехам проводятся на основании соответствующих методов [2 – 5].

### Основная часть

Наиболее общим подходом при проверке устойчивости ЭСУ к воздействию электромагнитного поля является проверка работоспособности изделия при его облучении в экранированной камере [2] (см. рис. 1).



Рис. 1 – Конфигурация рабочего места при облучении ЭСУ электромагнитным полем в экранированной камере

Опыт Испытательного центра «Омега» – филиала ФГУП НИИР (далее – ИЦ «Омега») показывает, что в случае, если ЭСУ имеет металлический (экранированный) корпус, то оно успешно выдержит данный вид испытаний.



Рис. 2 – Конфигурация рабочего места при испытании ЭСУ на устойчивость к воздействию узкополосного излучения электромагнитной энергии путем инъекции объемного тока

В этом случае его схемотехнические элементы и узлы оказываются экранированными, а в соединительных линиях и проводах питания наводятся кондуктивные помехи, создаваемые только той частью электромагнитных волн, которыми они облучаются. По сути, энергия электромагнитных помех «распределяется» по корпусу изделия и его проводам и кабелям.

Однако, если, например, испытанию подвергнуть только соединительные линии и/или цепи питания ЭСУ согласно методике [5] (см. рис.2), то результат может быть отличным от испытаний воздействию электромагнитного излучения внутри экранированной камеры вплоть до отказа изделия.

Одной из причин такого различия в результатах испытаний является то, что при инъекции объемного тока основное воздействие электромагнитных помех подается на входные/выходные порты изделия. Устойчивость ЭСУ в данном случае определяется уже не экранированием изделия в целом, а реализацией защитных цепей его на входах и выходах.

Поэтому в ряде случаев, при выборе метода испытаний согласно [1] следует проявлять гибкость с учетом конструктивных особенностей ЭСУ, в частности выбирая жесткий метод испытаний согласно [2 – 5].

### **Заключение**

Опыт работы ИЦ «Омега» по проведению оценки соответствия ЭСУ требованиям [1] показывает, что выбор той или иной методики испытаний [2 – 5] должен проводиться с учетом конструктивных особенностей изделия с целью создать наиболее жесткие условия для проведения испытаний.

Испытательной лаборатории целесообразно освоить максимально возможное число методов [2 – 5], чтобы в дальнейшем проводить более тщательную оценку соответствия.

### **Литература**

1. Единые предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении электромагнитной совместимости. ООН. Правила №10.– 2008. – 86 с.
2. Межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 11452-1-2007. Транспорт дорожный. Методы испытаний компонентов на устойчивость к воздействию узкополосного излучения электромагнитной энергии. Часть 1. Общие положения и терминология. – 2007. – 16 с.
3. Межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 11452-2-2007. Транспорт дорожный. Методы испытаний компонентов на устойчивость к воздействию узкополосного излучения электромагнитной энергии. Часть 2. Экранированная камера с поглощающим покрытием. – 2007. – 17 с.
4. Межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 11452-3-2007. Транспорт дорожный. Методы испытаний компонентов на устойчивость к воздействию узкополосного излучения электромагнитной энергии. Часть 3. Камера поперечной электромагнитной волны (ТЕМ-камера). – 2007. – 17 с.
5. Межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 11452-4-2007. Транспорт дорожный. Методы испытаний компонентов на устойчивость к воздействию узкополосного излучения электромагнитной энергии. Часть 4. Инъекция объемного тока. – 2007. – 21 с.
6. Межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 11452-5-2007. Транспорт дорожный. Методы испытаний компонентов на устойчивость к воздействию узкополосного излучения электромагнитной энергии. Часть 5. Полосковая линия передачи. – 2007. – 13 с.

### **Reference**

1. Edinoobraznye predpisaniya, kasayushchiesya oficial'nogo utverzhdeniya transportnyh sredstv v otnoshenii elektromagnitnoj sovmestivosti. OON. Pravila №10.– 2008. – 86 s.
2. Mezghosudarstvennyj standart GOST ISO 11452-1-2007. Transport dorozhnyj. Metody ispytaniy komponentov na ustojchivost' k vozdejstviyu uzkopolosnogo izlucheniya elektromagnitnoj energii. Chast' 1. Obshchie polozheniya i terminologiya. – 2007. – 16 s.
3. Mezghosudarstvennyj standart GOST ISO 11452-2-2007. Transport dorozhnyj. Metody ispytaniy komponentov na ustojchivost' k vozdejstviyu uzkopolosnogo izlucheniya elektromagnitnoj energii. Chast' 2. Ekranirovannaya kamera s pogloshchayushchim pokrytiem. – 2007. – 17 s.
4. Mezghosudarstvennyj standart GOST ISO 11452-3-2007. Transport dorozhnyj. Metody ispytaniy komponentov na ustojchivost' k vozdejstviyu uzkopolosnogo izlucheniya elektromagnitnoj energii. Chast' 3. Kamera poperechnoj elektromagnitnoj volny (TEM-kamera). – 2007. – 17 s.
5. Mezghosudarstvennyj standart GOST ISO 11452-4-2007. Transport dorozhnyj. Metody ispytaniy komponentov na ustojchivost' k vozdejstviyu uzkopolosnogo izlucheniya elektromagnitnoj energii. Chast' 4. Inzhekciya ob"emnogo toka. – 2007. – 21 s.
6. Mezghosudarstvennyj standart GOST ISO 11452-5-2007. Transport dorozhnyj. Metody ispytaniy komponentov na ustojchivost' k vozdejstviyu uzkopolosnogo izlucheniya elektromagnitnoj energii. Chast' 5. Poloskovaya liniya predachi. – 2007. – 13 s.

**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФАЗА-АМПЛІТУДА У ЦИФРОВИХ  
ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИНТЕЗАТОРАХ**

*Проаналізовано методи перетворення відліків фази у відліки амплітуди у цифрових обчислювальних синтезаторах – DDS. Проаналізовано різноманітні алгоритми такого перетворення. Розглянуті методи проаналізовані з точки зору зменшення апаратних затрат на реалізацію перетворення із необхідною якістю.*

*Ключові слова: АЦП, ЦАП, цифровий обчислювальний синтезатор, прямий цифровий синтезатор частот.*

О.І. POLIKAROVSKYKH, I.V. GULA

Khmelnitsky national university, Khmelnytsky, Ukraine  
e-mail: polalexey@gmail.com**ANALYSIS OF METHODS FOR TRANSFORMATION OF PHASE-AMPLITUDE IN DIRECT DIGITAL  
FREQUENCY SYNTHESIZERS**

*The methods of converting counts in samples of the amplitude phase in digital computer synthesizers (DDS) was proposed. Analysis of various algorithms for this conversion. Considered methods are analyzed in terms of reducing hardware costs to implement transformation of the required quality. The principles of organization of digital computing frequency synthesizers - DDS are considered. Namely, the phase-amplitude converter. The main problem of such a converter in a classical digital computational synthesizer is a large volume of a permanent storage device, which leads to large hardware, energy costs and, accordingly, leads to an increase in the cost of the final product. The paper analyzes the main methods used to reduce the amount of ROM in the synthesizer. The alternative methods of frequency synthesis considered, do not use ROM as the basis of the phase-amplitude converter (the CORDIC method). Mathematical modeling of these methods in the Matlab system was carried out, the simulation results were analyzed. A table is made that allows to implement the engineering solution in the process of designing digital computational synthesizers with maximum suppression of side components and minimal hardware costs. Optimum from this point of view is the architecture of digital calculating synthesizer Nikola. However, in cases of designing synthesizers for systems with quadrature modulation, it is advisable to use the CORDIC method. This method is expensive in terms of hardware, and it is advisable to use it only in the case of FPGA chips (programmable logic integrated circuits). The analysis shows that the architecture of DDS based on the CORDIC method wins the classical architecture based on ROM in the case of applying a phase word larger for 9-bits or more. Also, the CORDIC method is effective for quadrature frequency mixing solutions. A conventional quadrature mixer requires 4 multipliers, two adders and a sine / cosine memory in addition to the DDS synthesizer itself. And in the CORDIC method, the same result is achieved with the use of 4 multipliers, two adders and a ROM without the use of a DDS reference synthesizer.*

*Keywords: ADC, DAC, digital computing synthesizer, direct frequency synthesizer (DDS).*

Проаналізовано методи перетворення відліків фази у відліки амплітуди, які надходять до ЦАП, а далі у фільтр. На практиці схема фазового акумулятора не може виконати багато бітне додавання за один тактовий період, через явище затримки переносу у суматорі. Для вирішення цієї проблеми застосовують різноманітні методи, які докладно проаналізовані у статті [1]. Проте спектральна чистота типового цифрового обчислювального синтезатора (DDS) також визначається розрядністю значень, що зберігаються в постійному запам'ятовуючому пристрою відліків функції синус. Таким чином бажаним є зростання розрізняльної здатності табульованої функції у ПЗП. Проте такий підхід призводить до зростання енергоспоживання, зменшенню швидкості вибірки з ПЗП та до значного зростання вартості виробу. Завданням дослідження є аналіз існуючих на сьогоднішній день методів зменшення об'єму ПЗП.

Найпростішим методом зменшення об'єму ПЗП є зберігання лише  $\pi/2$  радіан функції синус та формування відліків функції до  $2\pi$  шляхом використання симетрій функції. Крім того використовуються наступні методи зменшення об'єму ПЗП: Апроксимація рядами Тейлора, CORDIC алгоритм, метод Нікола та ін. Метод CORDIC не використовує ПЗП для зберігання значень синуса, а використовує ітеративні обчислювальні методи. Платою за використання диференційних методів є зростання складності схематичних рішень та збільшення рівнів спотворень синтезованих сигналів.

Розглянуто випадок із зберіганням  $1/4$  значень повного періоду. Зменшення необхідного обсягу пам'яті для зберігання чверті періоду синусоїдальної функції досягається зберіганням (1) в ПЗП відліків функції [1,2]:

$$f(P) = \sin\left(\frac{\pi P}{2}\right) - P,$$

замість функції  $\sin\left(\frac{\pi P}{2}\right)$ . Це можливо через те що виконується залежність:

$$\max\left[\sin\left(\frac{\pi P}{2}\right) - P\right] \approx 0.21 \max\left[\sin\left(\frac{\pi P}{2}\right)\right],$$

і таким чином можна зберегти 2 біти амплітуди у постійному запам'ятовуючому пристрої. Платою за це зменшення є необхідність застосування додаткового суматора на виході таблиці перетворення для проведення операції:

$$\left[ \sin\left(\frac{\pi P}{2}\right) - P \right] + P.$$

Обсяг ПЗП може бути зменшений, у разі зберігання у ньому функції  $\sin(\pi P/2) - rP$ , де  $r$  - більше ніж 1. Ще одним методом зменшення необхідного об'єму ПЗП є Сандерленд архітектура. Фазове слово для чверті синусоїдальної функції розділяється на  $P = a + b + c$ , з розрядністю змінних відповідно  $a \rightarrow A, b \rightarrow B, c \rightarrow C$  [2].

Альтернативним методом до методу Сандерленд є зберігання в ПЗП відліків що певним чином оптимізовані. Фазове слово чверті синусоїдальної функції представимо як  $P = a + b + c$ , де відповідні розрядності  $a \rightarrow A, b \rightarrow B, c \rightarrow C$ . Змінні  $a, b$  адресують «грубий» ПЗП, а змінні  $a, c$  адресують «точний» ПЗП [1, 3].

Також використовують метод генерування синусоїдальної функції, який носить назву метод Нікола [2]. Даний метод може бути використаний для розпаралелювання процесу формування синусоїдального сигналу, коли, наприклад, один прямий цифровий обчислювальний синтезатор (DDS) працює на чотири блоки ПЗП, відліки з якого вибираються з частотою  $f = f_{clk} / 4$ .

Ще одним цікавим методом перетворення фаза-амплітуда є метод апроксимації синусоїдальної функції рядами Тейлора. У цьому методі фазова адреса  $P$  поділяється на дві частини вищу фазову адресу « $u$ » та нижчу фазову адресу – « $P-u$ ». Розкладення у ряд Тейлора виконується відносно –  $u$ :

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} P\right) = \sin\left(\frac{\pi}{2} u\right) + k_1(P-u) \cos\left(\frac{\pi}{2} u\right) - \frac{k_2(P-u)^2 \sin\left(\frac{\pi}{2} u\right)}{2} + R_3, \quad (2)$$

де  $k_n$  - це константа, що використовується для корегування кожної з складових. Ця константа необхідна через те, що фаза вимірюється у кутових одиницях. А кожен наступний член розкладу:

$$R_n = \frac{d^n(\sin(\frac{\pi}{2} r))}{dr} \frac{(P-u)^n}{n!}, \text{ де } r \in [u, P]. \quad (3)$$

Запропонований метод значно зменшує обсяг необхідних ПЗП, проте ускладнюється структура пристрою, внаслідок використання додаткових суматорів та перемножувача, що в кінцевому результаті призводить до зменшення максимальної синтезованої частоти цифрового обчислювального синтезатора.

Альтернативним методом формування синусоїдального сигналу є метод CORDIC [4], який використовує прості зсуви та операції додавання віднімання для обертання координат вектору. Якщо початкові значення вибираються як  $I_0 = 1$  і  $Q_0 = 0$  тоді фаза сигналу  $P_0$  рештою  $k-2$  бітів фазового регістру DDS. Результат роботи синтезатора методом CORDIC описується у цьому випадку наступною аналітичною моделлю:

$$I_n = G_n \cos(A); Q_n = -G_n \sin(A); G_n = \prod_{i=0}^{n-1} \sqrt{1+2^{-2i}}; A = P_0 - P_n, \quad (4)$$

де  $P_n$  - помилка апроксимації кута. Якщо ж початкові дані обрані  $I_0 = 1/G_n$  і  $Q_0 = 0$ , та  $P_0$  визначається рештою  $k-2$  бітів фазового регістру, тоді відпадає необхідність у операції масштабування після CORDIC перетворення, див. рис.1.

Цей метод є затратним з точки зору апаратури, і є доцільним лише у разі застосування мікросхем ПЛІС (Програмованих Логічних Інтегральних Схем), аналіз показує, що архітектура побудована на основі методу CORDIC виграє у класичної архітектури, що заснована на ПЗП у разі застосування фазового слова більшого за 9-біт та більше. Також метод CORDIC є ефективним для рішень квадратурного змішування частот. Звичайний квадратурний змішувач потребує 4 перемножувача, два суматора та пам'ять із відліками синуса/косинуса додатково до самого синтезатора DDS. А у методі CORDIC той самий результат досягається із використанням 4-х перемножувачів, двох суматорів і ПЗП без використання опорного синтезатора частоти DDS.

В середовищі Matlab було розроблено модель цифрового обчислювального синтезатора DDS, в якому послідовно було проаналізовано різні методи перетворення фаза-амплітуда. В таблиці 1

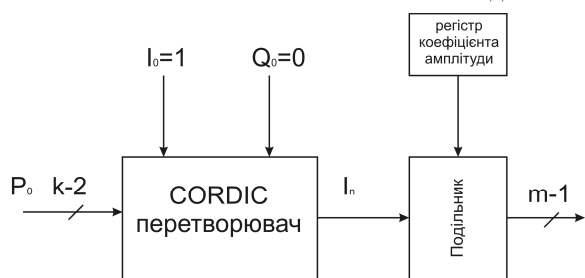


Рис.1. CORDIC метод формування чверті періоду синусоїдальної функції

представлено, як багато пам'яті та додаткових компонентів необхідно для кожного типу стиснення пам'яті або алгоритму формування синусоїдального сигналу, для досягнення рівня подавлення бічних складових у -85дБ.

Таблиця 1

**Порівняльна таблиця різних методів перетворення фаза-амплітуда із рівнем подавлення -85дБ**

Метод	Об'єм пам'яті	Коефіцієнт стиснення	Додаткові необхідні мікросхеми	Подавлення досягнуте у моделі	Примітка
Нестиснена функція	$2^{14} \times 12$ біт	1:1	-	-97,23 дБ	-
Архітектура Сандерленд	$2^8 \times 9$ біт $2^8 \times 4$ біт	59:1	суматор	-86,91 дБ	Проста реалізація
Архітектура Нікола	$2^8 \times 9$ біт $2^8 \times 4$ біт	59:1	суматор	-86,81 дБ	Проста реалізація
Апроксимація рядами Тейлора з двома додами	$2^7 \times 9$ біт $2^7 \times 5$ біт	110:1	Суматор перемножувач	-85,88 дБ	Необхідність перемножувача
Алгоритм CORDIC	-	-	14 конвеєрних станів, 18 біт – довжина внутріш. перетворення	-84,25 дБ	Велика обчислювальна складність

Подавлення бічних складових у -85дБ не є визначальним у роботі цифрових обчислювальних синтезаторів. Через те що цей рівень лишається значно нижчим за рівень шумів високошвидкісного 12-бітного цифро-аналогового перетворювача.

**Висновки**

Розглянуто принципи організації цифрових обчислювальних синтезаторів частоти – DDS. А саме перетворювача фаза-амплітуда. Основною проблемою такого перетворювача у класичному цифровому обчислювальному синтезаторі є великий обсяг постійного запам'ятовуючого пристрою, що призводить до великих апаратних та енергетичних затрат і відповідно призводить до зростання вартості кінцевого виробу. В роботі проаналізовано основні методи, що використовуються для зменшення об'єму ПЗП у синтезаторі. Розглянуті альтернативні методи синтезу частоти, що не використовують ПЗП як основу перетворювача фаза-амплітуда (метод CORDIC). Проведено математичне моделювання цих методів у системі Matlab, проаналізовано результати моделювання. Складено таблицю яка дозволяє здійснювати інженерне рішення у процесі проектування цифрових обчислювальних синтезаторів із максимальним подавленням бічних складових та мінімальними апаратними затратами. Оптимальною з цієї точки зору є архітектура цифрового обчислювального синтезатора Нікола. Проте у випадках проектування синтезаторів для систем з квадратурною модуляцією доцільним є використання методу CORDIC.

**Література**

1. Полікаровських О.І. Принципи побудови структурних елементів високої швидкодії у Прямих цифрових синтезаторах частоти (DDS)/ Полікаровських О.І. -2012.–Вісник ХНУ №4
2. Vankka J. Direct Digital Synthesizers:Theory, Design and Applications/ Vankka J. // Helsinki University of Technology. – 2000. – С. 192.
3. Манасевич В, Синтезаторы частот. Теория и проектирование: Пер. с англ./Под ред. А.С. Галина. – М.: Связь, 1979.
4. Yuanwang Yang, Jingye Cai A Novel DDS Structure with Low Phase Noise and spurs/ Yuanwang Yang // UESTC, Chengdu. – 2011.

**References**

1. Polikarovskiykh O.I. Pryntsyry pobudovy strukturnykh elementiv vysokoi shvydkodii u Priamykh tsyfrovyykh syntezyatorakh chastoty (DDS)/ Polikarovskiykh O.I. -2012.–Visnyk KhNU №4
2. Vankka J. Direct Digital Synthesizers:Theory, Design and Applications/ Vankka J. // Helsinki University of Technology. – 2000. – S. 192.
3. Manassevych V, Syntezyatory chastot. Teoryia y proektyrovanye: Per. s anhl./Pod red. A.S. Halyna. – M.: Sviaz, 1979.
4. Yuanwang Yang, Jingye Cai A Novel DDS Structure with Low Phase Noise and spurs/ Yuanwang Yang // UESTC, Chengdu. – 2011.

## СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА ПАНОРАМНОГО ПРИЛАДУ

**Анотація** – Вирішення актуальної проблеми визначення частотних характеристик пристроїв та ліній зв'язку полягає у розробці нових методів, що допоможуть покращити точність таких панорамних вимірювань та забезпечити якісне проведення усіх вимірювально-технологічних операцій.

Дана робота знайомить з новим способом визначення частоти вимірювального генератора на ЗІГ-резонаторі.

Схема визначення частоти вимірювального генератора складається з блоку переналаштування, обчислювального блоку, власно вимірювального генератора, стробоскопічного змішувача, фільтра нижніх частот, формувача міток, перемикача, першого і другого кварцових опорних генераторів, третього опорного діапазонного генератора

**Ключові слова:** панорамний прилад, вимірювальний генератор, ЗІГ-резонатор, змішувач, кварцовий опорний генератор, частотний синтезатор, координатна мітка, вимірювальна мітка

S. P. KONONOV, M. A. HRYHORENKO, A. S. LUTSYSHYN

Vinnitsia National Technical University  
knnvknv@ukr.net, nikolaonline123@gmail.com, tkp15b.lutsyshyn@gmail.com

## METHOD OF DETERMINING THE FREQUENCY OF THE MEASUREMENT GENERATOR OF THE PANORAMIC DEVICE

**Annotation** – Solving the actual problem due to determination of frequency characteristics of devices and communication lines is developing of new methods that will help to improve the accuracy of such panoramic measurements and ensure the high quality of all measuring and technical operations.

This work introduces a new way to determine the frequency of measuring generator on ZIG-resonator. There are no loop control in generator. It's don't cause increasing of the level of his phase noise, and temperature frequency instability slightly affects the accuracy of measurements. There is proposing structural scheme that implements a new way to determine the frequency of measuring generator. This work is relevant at the present stage of development of electronic and telecommunication technologies, because it allows to represent to a wide generally a new algorithm determine the frequency of measuring generator. Such approach will improve characteristics and quality of measuring panoramic devices, which in turn optimizes and speed up a process of researching, development and operation of electronic and telecommunications equipment devices and systems.

Scheme that determine the frequency of measuring generator consists of the changing block, computational block, measuring generator, stroboscopic mixer, lowpassfilter, marks maker, switch, the first and second quartz supporting generators, the third supportinband generator. Measuring mark is forming with any frequency in the oscillation band, during the full cycle of the scheme work. As a result, error of definition frequency in the panoramic device will be such or less, as in the best samples of frequency characteristics measuring devices. For example, 0,1 - 0,5 % in the serial device P4-MWM-20 developed by MWM LAB (Belarus).

High linearity depending frequency of ZIG-resonator generation from the control current allows, using piecewise linear approximation, to show information about the frequency in the point of the the cursor location in the device's monitor

**Keywords:** panoramic device, measuring generator, ZIG-resonator, mixer, quartz reference oscillator, frequency synthesizer, coordinatemarks, measuring marks

### Основна частина

Запропоновано новий спосіб визначення частоти вимірювального генератора на ЗІГ-резонаторі, в якому, на відміну від відомих генераторів та синтезаторів [1], відсутні петлі регулювання, не збільшений рівень фазових шумів, а температурна нестабільність частоти суттєво не впливає на точність вимірювань.

Схема визначення частоти вимірювального генератора (рис.1) складається з блоку переналаштування (БП), обчислювального блоку (ОБ), власно вимірювального генератора (ВГ), стробоскопічного змішувача (З), фільтра нижніх частот (ФНЧ), формувача міток (ФМ), перемикача (П), першого і другого кварцових опорних генераторів (ОГ1, ОГ2), третього опорного діапазонного генератора (ОГ3). За повний цикл роботи схеми формуються координатні мітки та вимірювальна мітка з будь-якою частотою в межах смуги хитання.

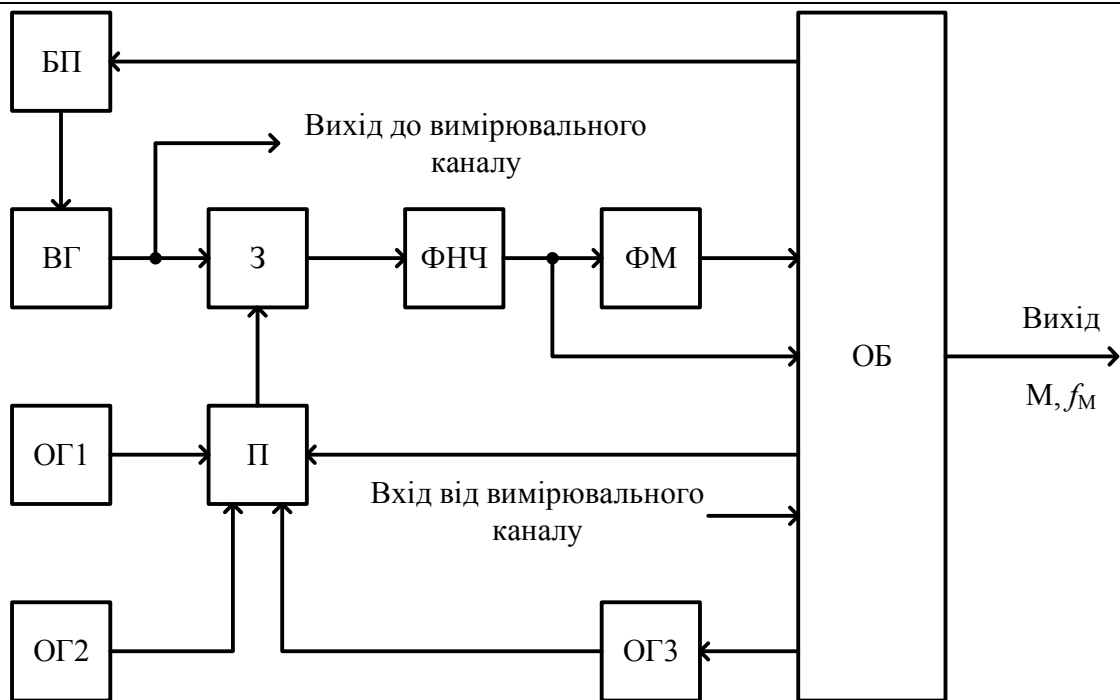


Рис. 1 – Схема визначення частоти вимірювального генератора

Відповідно до схеми (рис.1) пилкоподібну напругу блок перенаштування починає формувати з приходом на його вхід імпульсів від обчислювального блоку. Частота вихідної напруги вимірювального генератора, підключеного до першого входу змішувача, змінюється під час прямого ходу розгортки за лінійним законом. На другий вхід змішувача через перемикач подається напруга у вигляді коротких імпульсів з першого або другого, або третього опорних генераторів. Гармоніки вихідної напруги опорних генераторів розподілені рівномірно у робочому діапазоні частот вимірювального генератора.

### Висновки

Розглянуто новий спосіб визначення частоти вимірювального генератора на ЗІГ-резонаторі. Вимірювальний генератор не охоплено зворотними зв'язками додаткових регулювань. Він керується лише кодом від обчислювального блоку.

Похибка визначення частоти в панорамному приладі реалізовано маленькою, як і в кращих зразках вимірювачів частотних характеристик, наприклад, (0,1-0,5)% в серійному приладі P4-MVM-20 виробництва фірми MWMLAB (Білорусь).

Висока лінійність залежності частоти генерації ЗІГ-резонатора від струму керування дозволяє, використавши кусково-лінійну апроксимацію, подавати на моніторі приладу інформацію про частоту в точці розташування курсора.

### Література

1. Кувшинов В. ЖИГ генератор и синтезатор частот компании Micro Lambda Wireles / В. Кувшинов // Компоненты и технологии. – 2015. – Вып. 9. – С. 34-38.
2. Пат. 120287 Україна, МПК (2017.01): G01R 23/00. Вимірювач частоти світлового генератора / С. П. Кононов, А. А. Негур — № u201704755; заявл. 17.05.2017, опубл. 25.10.2017, Бюл. № 20.

### References

1. Kuvshinov V. ZHYH generator isynteзатор chastot kompaniyi Micro Lambda Wireles / V. Kuvshinov // Komponenty ta tekhnologiyi. - 2015. - Вып. 9. - s. 34-38.
2. Pat. 120287 Ukrayina, MPK (2017.01): G01R 23/00. Vymiryuvach chastot ysvitov ogogeneratora / S. P. Kononov, A. A. Nehur - № u201704755; zayavl. 17.05.2017, opubl. 25.10.2017, Biul. № 20.

## ШВИДКОДІЙНИЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ДОДАТКОВИМ КАНАЛОМ ОБРОБЛЕННЯ СИГНАЛУ

*Анотація.* Запропоновано швидкодійний аналого-цифровий перетворювач (АЦП) з додатковим каналом оброблення сигналу та покращеними динамічними характеристиками. Для зниження динамічної похибки аналого-цифрового перетворення здійснюється додаткове оброблення вхідного сигналу, що зменшує швидкість зміни сигналу на вході АЦП. Основною перевагою розробленого швидкодійного АЦП є можливість ефективного використання структурної надлишковості для зменшення динамічної похибки.

*Ключові слова:* аналого-цифровий перетворювач, оброблення сигналів, частота дискретизації

G.G. BORTNYK, O.G. BORTNYK, R.M. VITER  
 Vinnytsia National Technical University  
 bgen88@gmail.com

## HIGH-SPEED ANALOG-DIGITAL CONVERTER WITH ADDITIONAL CHANNEL SIGNAL PROCESSING

*Annotation.* A high-speed analog-to-digital converter (ADC) with an additional channel of signal processing is offered. To reduce the dynamic error of an analog-digital conversion, additional processing of the input signal is made, which reduces the rate of signal change at the input of the ADC.

*Introduction of structural surplus, implementing the operations of analog differential differentiation of the input signal ADC and digital integration of its source code leads to a decrease in the dynamic error in the intervals of rapid change of the signal.*

*The structure of a fast-acting ADC is proposed, in which signal restoration is performed using a digital integrator. The choice of the channel that is connected to the output of the multiplexer is carried out by the comparison device based on the comparison of the signal change rate with the given threshold. When processing the signal in the second channel, there is a loss of information about the constant component of the signal. To restore it, the source code of the integrator is summed up with the last ADC 1.*

*Increasing the sampling rate of signals in this channel allows processing at the same level of dispersion of dynamic error with signals with a wider spectrum. When processing the samples in the conditional real time, the use of identical ADCs in both channels, provides a reduction of the dispersion of the dynamic error by 4 times. Taking into account the proportional dependence of the mean square deviation of the dynamic error on the rate of change of the input signal, it is possible to increase the frequency of the input signal by 2 times with constant dynamic error.*

*1. An essential feature of the ADC is that it is not critical to the type of ADC modules and ADCs that are used. The main requirement put forward to them is the independence of the dynamic error from the signal level.*

*2. The advantage of the developed high-speed ADC is the ability to effectively use structural redundancy to reduce the dynamic error of signal conversion.*

*3. Keywords:* analog-to-digital converter, signal processing, sample rate.

Розвиток і розширення сфер використання комп'ютерних систем оброблення високочастотних сигналів неможливі без покращення характеристик засобів аналого-цифрового перетворення. Проте існуючі аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) не задовольняють усім висунутим до них вимогам і, в першу чергу, вимогам щодо швидкодії та точності. Обмеження ширини спектра вхідного сигналу АЦП обумовлено зростанням з підвищенням частоти похибок перетворення [1, 2]. Основним напрямком розв'язання цієї задачі є вдосконалення інтегральної технології, що призводить до безпосереднього покращення динамічних характеристик АЦП. Проте розвиток цього напрямку можливий тільки при наявності відповідної технологічної бази і вимагає значних витрат на розробку нової технології [3].

У зв'язку з цим актуальною є задача зменшення впливу неідеальності динамічних характеристик АЦП на результуючу динамічну точність перетворення структурними методами.

В роботі запропоновано для зниження динамічної похибки аналого-цифрового перетворення сигналу  $x(t)$  здійснювати додаткове перетворення  $L\{x(t)\}$ , що зменшує швидкість зміни сигналу на вході АЦП. Клас можливих пар перетворень  $L, L^{-1}$  досить вузький. Основною причиною, що ускладнює пошук таких пар, є наявність операції аналого-цифрового перетворення, що розділяє операції  $L$  і  $L^{-1}$ , у результаті чого перетворення  $L$  виконується над аналоговим сигналом, а  $L^{-1}$  – над цифровим сигналом [4].

Однією з небагатьох можливих пар перетворень, що задовольняють наведеним умовам, є лінійні перетворення  $L(p) = (1 - e^{-pT})$  та  $L^{-1}(z) = (1 - z^{-1})^{-1}$ . Перетворення Лапласа сигналу  $r(t)$ , при якому результат  $y^*(n\Delta t)$  відновлюючого перетворення  $L^{-1}(z)$  повинен збігатися з цифровим еквівалентом  $x^*(n\Delta t)$  вхідного сигналу  $x(t)$ , дорівнює  $R(p) = x(p) \cdot L(p)$ .

Тому, якщо  $L^{-1}(z) = (1 - Z^{-1})^{-1}$ , то  $Y(z) = R(z) \cdot L^{-1}(z) = Z\{X(p)\} = X(z)$ .

Таким чином, в результаті перетворення  $L^{-1}$ , відбувається повне відновлення цифрового еквіваленту вхідного сигналу. Структура АЦП з додатковим каналом оброблення, який використовує різницеве диференціювання вхідного сигналу, наведена на рис. 1.



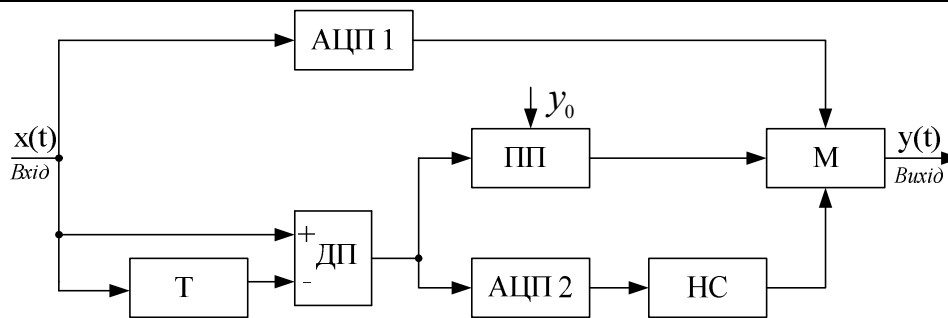


Рис.1. Структура швидкодіючого АЦП з додатковим каналом оброблення

Відновлення сигналу виконується за допомогою перетворення  $L^{-1}(z) = (1 - z^{-1})^{-1}$ , реалізованого цифровим інтегратором. Вибір каналу, який під'єднується до виходу мультиплексора (М), здійснюється пристроєм порівняння (ПП) на основі порівняння швидкості зміни сигналу  $x(t)$  із заданим порогом  $y_0$ . Ця операція може здійснюватися як в аналоговому вигляді, шляхом порівняння сигналу  $x_T(t)$  з порогом в  $y_0$ , так і в цифровому, порівнянням вихідного коду АЦП2 з кодом, відповідним порого. При диференціюванні у другому каналі відбувається втрата інформації щодо постійної складової сигналу. Для її відновлення підсумовується вихідний код інтегратора з останнім відліком АЦП 1.

Суттєвою особливістю АЦП є те, що він не критичний до типу модулів АЦП1 і АЦП2, які використовуються. Основною вимогою, що висувається до них, є незалежність динамічної похибки від рівня сигналу.

Ефективність введення диференціального каналу перетворення зростає з підвищенням частоти дискретизації, тому в складі АЦП доцільно використовувати модулі паралельних АЦП, паралельно-послідовних АЦП з випередженням, АЦП з пристроями амплітудної згортки та інші, що мають високу частоту дискретизації. Підвищення частоти дискретизації в цьому каналі у  $d$  разів дозволяє обробляти при тому ж рівні дисперсії динамічної похибки сигнали, що мають спектр у  $\sqrt{d}$  разів ширший [5].

При обробленні відліків в умовно-реальному часі, використання однакових АЦП в обох каналах, що працюють з відносною частотою дискретизації  $F_1 = 8$ , забезпечує зниження дисперсії динамічної похибки в 4 рази. Враховуючи пропорційну залежність середньоквадратичного відхилення динамічної похибки від швидкості зміни вхідного сигналу, можна у 2 рази підвищити частоту вхідного сигналу при незмінній динамічній похибці.

Основною перевагою розробленого швидкодіючого АЦП є можливість ефективного використання введеної структурної надлишковості для зменшення динамічної похибки.

#### Література

1. Бортник Г.Г. Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, В.М. Кичак. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 168 с.
2. Бортник Г.Г. Аналіз ефективності аналого-цифрового перетворення сигналів у радіотехнічних комплексах / Г.Г. Бортник, М.Л. Мінов, О.В. Стальченко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2011. – № 2. – С.12-15.
3. Бортник Г.Г. Метод аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів з додатковим шумоподібним сигналом. Г.Г. Бортник, О.В. Стальченко, К.О. Боярський. – Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015, № 1. – С.100-105.
4. Бортник Г.Г. Швидкодіючий аналого-цифровий перетворювач підвищеної точності / Г.Г. Бортник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 5. – С. 47-50.
5. Бортник Г.Г. Пристрій аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, О.В. Стальченко // Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 2. – С.82-85.

#### References

1. Bortnyk G.G. Metodi ta zasobi pervynnoho tsyfrovogo obroblyennya radiosignaliv / G.G. Bortnyk, M.V. Vasilkivskiy, V.M. Kychak. – Vinnitsya: VNTU, 2016. – 168 s.
2. Bortnyk G.G. Analiz efektyvnosti analoho-tsyfrovoho peretvorennia syhnaliv u radiotekhnichnykh kompleksakh / G.G. Bortnyk, M.L. Minov, O.V. Stalchenko // Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia. – 2011. – № 2. – S. 12-15.
3. Bortnyk G.G. Metod analoho-tsyfrovoho peretvorennia vysokochastotnykh syhnaliv z dodatkovym shumopodibnym syhnalom / G.G. Bortnyk, O.V. Stalchenko, K.O. Boiarskiy // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2015. – № 1. – S. 100-105.
4. Bortnyk G.G. Shvydkodiiuchy analoho-tsyfrovoy peretvoriuvach pidvyshchenoi tochnosti/ G.G. Bortnyk // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2002. – № 5. – S. 47-50.
5. Bortnyk G.G. Prystrii analoho-tsyfrovoho peretvorennia vysokochastotnykh syhnaliv / G.G. Bortnyk, M.V. Vasilkivskiy, O.V. Stalchenko // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2013. – № 2. – S. 82-85.

## АНАЛОГО-ЦИФРОВИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ З ПЕРЕДБАЧЕННЯМ СИГНАЛУ

*Анотація.* У роботі запропоновано аналого-цифровий перетворювач (АЦП) з перекриттям шкал і оптимальним передбаченням сигналу. Розроблено структуру АЦП, що базується на перекритті розрядів кодів, а це дає змогу коригувати динамічні похибки другого роду, які не можуть бути враховані передбаченням. Виконано аналіз оптимальних значень коефіцієнтів підсилення для різної кількості розрядів АЦП пристроїв, що дозволяє зменшити величину перекриття сходинок і тим самим знизити вплив динамічних похибок другого роду, що в свою чергу дає змогу покращити динамічні властивості перетворювача в цілому.

*Ключові слова:* аналого-цифровий перетворювач, оптимальне передбачення сигналу, динамічні похибки

G.G. BORTNYK, A.V. KOVALENKO

Vinnytsia National Technical University  
bgen88@gmail.com

## ANALOG-DIGITAL CONVERTER WITH SIGNAL PREDICTION

*Annotation.* The paper presents an analog-digital converter (ADC) with overlapping scales and optimal prediction of the signal. It is established that the real quantization step of the ADC may differ from the nominal step given in the normalization of the parameters of the APC in the static mode. This discrepancy arises due to the inertia and delay of the response of the ADC comparators to the change of the input signal, which leads to an increase in error and quantization noise; therefore, for estimating the errors introduced by the ADC as a result of dynamic measurements, it is necessary to be guided not only by static but also dynamic characteristics. One of the ways to improve the dynamic ADC parameters is to use the structural methods of redundancy in the construction of converters, namely the creation of multi-stage ADCs, which enable an increase in the accuracy of analog-digital conversion while maintaining high-performance ADCs.

It is proposed to compensate for dynamic errors in the structures of multistage ADCs, along with the overlapping of the scales of these converters, to use the prediction of the input signal at the time of its coding the ADC of the junior level. This allows you to lower the requirements for the size of the overlap of scales of ADC steps and thus increase their resolution.

The structure of ADC is developed, which is based on overlapping of code digits and prediction of the signal. In this structure, a digital-to-analog converter and a signal mixer are used in the feedback loop. This allows you to adjust the dynamic errors of the second kind, which can not be taken into account by prediction of the signal.

The analysis of the optimal values of gain coefficients for different amounts of ADC increments is made, which allows to reduce the size of the overlapping steps and thus reduce the influence of the second-generation dynamic errors, which in turn allows us to improve the dynamic properties of the converter as a whole.

Proved for the case if the range of the input signal of the device and the range of the input signal of the ADC degree coincide, then to fully utilize the resolution of the ADC stages with optimal prediction, it is necessary to amplify the prediction error signal. In this case, the gain must be chosen equal to the ratio of the ranges of input signal change and prediction errors.

*Keywords:* analog-to-digital converter, optimal prediction of the signal, dynamic errors

Динамічні властивості аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) відображають його здатність функціонувати зі змінними у часі вхідними сигналами. У динамічному режимі передатна характеристика АЦП та її параметри суттєво відрізняються від значень, виміряних у статичному режимі випробувань. Реальний крок квантування АЦП може відрізнитися від номінального кроку, заданого при нормуванні параметрів АЦП у статичному режимі. Ця невідповідність виникає внаслідок інерційності та затримки реакції компараторів АЦП на змінювання вхідного сигналу, що призводить до збільшення похибки та шуму квантування, тому для оцінювання похибок, що вносяться АЦП в результаті динамічних вимірювань, необхідно керуватись не лише статичними, але й динамічними характеристиками [1].

Одним з шляхів покращення динамічних параметрів АЦП є використання структурних методів надлишковості при побудові перетворювачів, а саме створення багатоступеневих АЦП, які дають можливість підвищити точність аналого-цифрового перетворення при збереженні високої швидкодії АЦП [2, 3].

Для компенсації в структурах багатоступеневих АЦП динамічних похибок, разом з перекриттям шкал сходинок цих перетворювачів можна використовувати передбачення вхідного сигналу на момент його кодування АЦП молодшого рівня. Це дозволяє також знизити вимоги до величини перекриття шкал сходинок АЦП і підвищити тим самим їх роздільну здатність. Важливе місце тут займає вибір певного співвідношення між кількістю розрядів ступенів АЦП і цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) та кількістю розрядів вихідних відліків АЦП [4].

Використання середньоквадратичного критерію оптимальності передбачення виду

$$E_{opt} = \min_{\alpha_k, \beta_l} M \left\{ \left[ S_x(t_i) - S_{перед}(t_i, \alpha_k, \beta_l) \right]^2 \right\}$$
, направлене на мінімізацію середнього квадрата помилки передбачення  $E$ .

Очевидно, що використання передбачення має сенс лише у випадку, якщо  $E_{opt}$  не перевищує середнього квадрата значень вхідного сигналу (для вхідних сигналів з нульовим середнім дисперсією:

$D_{ex} = M \{ S_{ex}^2(t_i) \}$ ). Отже, вибір  $E_{opt}$  повинен задовольняти нерівності:

$$0 < E_{opt} \leq D_{ex}.$$

У загальному випадку, для визначення величини  $E_{opt}$ , необхідно у вираз для середнього квадрата

помилки передбачення підставити результат розв'язання системи рівнянь, що дає оптимальні коефіцієнти передбачення

$$V \times B' = C, \quad (1)$$

де  $k = \overline{1, n}$ ;  $c_k = R(kT_\Delta) - \sum_{l=1}^n b_l \cdot R(|l-k| \cdot T_\Delta)$ ;  $V = \{V_{kl}\}$ ;  $V_{kl} = R(|l-k| \cdot T_\Delta)$ .

Для визначення оптимального, відповідно до вибраного критерію, вектора коефіцієнтів передбачення  $B' = \{b'_k\}$ , використаємо вираз для взаємкореляційної функції вхідного та вихідного сигналів:

$$E_{onm} = R_{ex}(0) - \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n b'_k b'_l R(|l-k|T_\Delta), \quad (2)$$

де  $R_{ex}(0) = M\{S_{ex}^2(t_i)\} = D_{ex}$  – нульовий кореляційний момент вхідного сигналу, що представляє його дисперсію.

Другий доданок у виразі (2) можна охарактеризувати як величину, на яку скорочується дисперсія сигналу, в результаті аналого-цифрового перетворення при оптимальному передбаченні. В результаті може бути зменшений діапазон вхідних сигналів АЦП пристроїв, який повинен відповідати тепер діапазону зміни помилки оптимального передбачення.

Структура АЦП з передбаченням сигналу на базі перекриття шкал представлена на рис. 1.

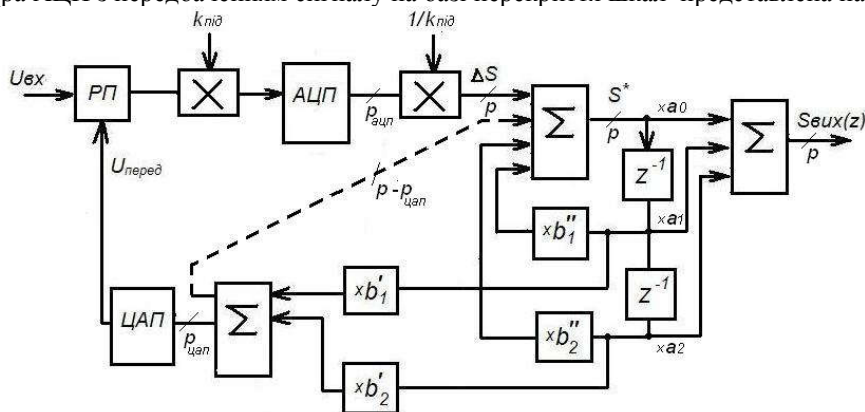


Рис. 1. Структура АЦП з передбаченням сигналу

На практиці, діапазон вхідних сигналів АЦП паралельного типу є фіксованою величиною. У цьому випадку приведення у відповідність діапазону вхідних сигналів ступенів АЦП і сигналу, що піддається перетворенню, досягається шляхом підсилення або послаблення даного сигналу, що відповідає еквівалентному звуженню або розширенню діапазону АЦП. При цьому на виходах ступенів АЦП після перетворення виконується відповідне масштабування одержаного відліку помилки передбачення.

### Література

1. Бортник Г.Г. Аналіз ефективності аналого-цифрового перетворення сигналів у радіотехнічних комплексах / Г.Г. Бортник, М.Л. Мінов, О.В. Стальченко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2011. – № 2. – С.12-15.
2. Бортник Г.Г. Метод аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів з додатковим шумоподібним сигналом. Г.Г. Бортник, О.В. Стальченко, К.О. Боярський. – Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах.– 2015, № 1.– С.100-105.
3. Бортник Г.Г. Швидкодійний аналого-цифровий перетворювач підвищеної точності / Г.Г. Бортник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 5. – С. 47-50.
4. Бортник Г.Г. Пристрій аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів / Г.Г. Бортник, М.В. Васильківський, О.В. Стальченко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 2.– С.82-85.

### References

1. Bortnyk G.G. Analiz efektyvnosti analoho-tsyfrovoho peretvorennia syhnaliv u radiotekhnichnykh kompleksakh / G.G. Bortnyk, M.L. Minov, O.V. Stalchenko // Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia. – 2011. – № 2. – S. 12-15.
2. Bortnyk G.G. Metod analoho-tsyfrovoho peretvorennia vysokochastotnykh syhnaliv z dodatkovym shumopodibnym syhnalom / G.G. Bortnyk, O.V. Stalchenko, K.O. Boiarskyi // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh.– 2015. – № 1.– S. 100-105.
3. Bortnyk G.G. Shvydkodiiuchy analoho-tsyfrovoy peretvoriuvach pidvyshchenoi tochnosti/ G.G. Bortnyk // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. – 2002. – № 5. – S. 47-50.
4. Bortnyk G.G. Prystrii analoho-tsyfrovoho peretvorennia vysokochastotnykh syhnaliv / G.G. Bortnyk, M.V. Vasilkivskiy, O.V. Stalchenko // Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. – 2013. – № 2.– S. 82-85.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗАРОЖДАЮЩИХСЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ МЕТОДОМ РАЗДЕЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

*Первоначально метод раздельного оценивания, разработанный Фридландом, использовался в качестве эффективного средства понижения вычислительной сложности расширенного фильтра Калмана т.е. фильтра, размерность которого значительно выше размерности контролируемой системы. Структура, предложенная Фридландом, представляет собой пару специальных фильтров, которые разъединены, но действуют параллельно, а линейная комбинация их выходов аппроксимирует выход расширенного фильтра Калмана. В самом общем случае, эта структура не является оптимальной в том смысле, что она не полностью эквивалентна расширенному фильтру Калмана. В данной работе рассматривается применение модифицированного двухкаскадного разделенного фильтра Калмана к задаче идентификации зарождающихся неисправностей в линейных динамических системах.*

*Ключевые слова: расширенный фильтр Калмана, двухкаскадный фильтр Калмана, фильтр, свободный от неисправностей, раздельное оценивание зарождающихся неисправностей.*

A. YU. VOLOVIK, A. V. OSADCHUK, N. A. SHUTILO, O. P. CHERVAK

Vinnitsia National Technical University

### ARISING MALFUNCTIONS IDENTIFICATION BY METHOD OF SEPARATE ESTIMATION

*Annotation – Originally the method of separate estimation developed by Friedland was used as an effective approach of computing complexity lowering of an expanded Kalman filter i.e. the filter which dimension is much higher than dimension of controlled system. The structure offered by Friedland represents pair of special filters which are isolated, but work in parallel, and linear combination of their exits approximates an exit of an expanded Kalman filter. In the most general case, this structure is not optimum in the sense that it is not completely equivalent to an expanded Kalman filter, being optimum only for perturbations of the determined type. In case of random disturbances the two-stage Kalman filter stops being an optimum filter because of connected with performance of very rigid restrictions which are difficult for executing in practice. The purpose of this work is such modernization of two-stage structure of the filter of Friedland which with the arising malfunctions modelled by accidental process of the general type is capable to provide filter responses close to optimum. Use of unitary matrix transformation for the purpose of receiving two standard Kalman filters which linear combination of exits approximates an exit of an expanded Kalman filter is the basis for a method of modernization, and introduction of the additional adjusting input significantly weakens the restrictions imposed on a mutual complete correlation matrix between noise of perturbation and system noise. From the mathematical point of view of structure of the separated filters the expanded Kalman filter which leads covariation matrixes to a diagonal look can receive by application two step linear unitary transformation. The main feature, the entered transformations the fact that direct and return transformations are connected by rather simple parity is. Direct application of the specified transformations to an expanded Kalman filter allows to offer parallel structure of the two-stage filter based on linear combination of exits of the modified filter free from malfunctions, and the filter specializing only in estimation of dynamics of the arising malfunctions.*

*Keywords: the expanded filter of Kallman, the two-cascade filter of Kallman, the filter, free from malfunctions, separate estimation of the arising malfunctions.*

### Введение

Рассматривая задачу оценивания состояния линейной динамической системы в присутствии зарождающихся неисправностей. В общем случае, их принято считать составной частью вектора состояния и, следовательно, оценивать также как и вектор состояния. При такой интерпретации зарождающихся неисправностей приходим к фильтру Калмана с расширенным вектором состояний, размерность которого значительно выше размерности контролируемой системы. Практическая реализация такого фильтра сопряжена со значительными трудностями вычислительного характера. Для преодоления этих затруднений Фридланд [1] предложил вместо расширенного фильтра Калмана использовать составной фильтр, состоящий из двух параллельно работающих отдельных каскадов, но меньшей размерности.

Известно, что декомпозиция расширенного фильтра Калмана, рекомендованная Фридландом, является оптимальной только для возмущений детерминированного типа [1]. В случае случайных возмущений двухкаскадный фильтр Калмана перестает быть оптимальным фильтром по причине связанной с выполнением весьма жестких ограничений, которые трудно выполнить на практике [4,5].

После выхода работы [1], возмущения многими авторами рассматривались в виде процесса, управляемого белым шумом который не был коррелированным с системным шумом [2,3]. Однако полученные результаты оказались квазиоптимальными. В работах [5,6] был рассмотрен случай, когда случайные возмущения порождались белым шумом, коррелированным с системным шумом. Было показано, что в этом случае можно получить оптимальную структуру двухкаскадного фильтра Калмана, однако оставались ограничения, накладываемые на взаимную корреляционную матрицу между шумом возмущения и системным шумом. Целью данной работы является такая модернизация двухкаскадной структуры фильтра Фридланда, которая при наличии зарождающихся неисправностей, моделируемых случайным процессом

общего типа, способна обеспечить характеристики фильтра близкие к оптимальным, а введение дополнительного корректирующего входа существенно ослабляет ограничения, введенные в работе [5].

### Постановка задачи исследований

Предполагается, что предмет исследований описывается системой разностных уравнений

$$\mathbf{y}(k) = \Delta(k)\mathbf{x}(k) + \Sigma(k)\boldsymbol{\varphi}(k) + \mathbf{v}(k); \quad (1)$$

$$\mathbf{x}(k+1) = \Phi(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{G}(k)\boldsymbol{\varphi}(k) + \mathbf{w}_x(k); \quad (2)$$

$$\boldsymbol{\varphi}(k+1) = \Gamma(k)\boldsymbol{\varphi}(k) + \mathbf{w}_\varphi(k), \quad (3)$$

где  $\mathbf{y}(k) \in \mathbf{R}^m$  – вектор наблюдений;  $\mathbf{x}(k) \in \mathbf{R}^n$  – вектор состояния системы;  $\boldsymbol{\varphi}(k) \in \mathbf{R}^p$  – вектор состояния зарождающейся неисправности, а системные матрицы  $\Delta(k)$ ,  $\Sigma(k)$ ,  $\Phi(k)$ ,  $\mathbf{G}(k)$ ,  $\Gamma(k)$  известны и имеют соответствующие размерности, кроме того матрица  $\Gamma(k)$  предполагается невырожденной.

Шумовые процессы  $\mathbf{w}_\varphi(k)$ ,  $\mathbf{w}_x(k)$ ,  $\mathbf{v}(k)$  являются белыми гауссовыми последовательностями, имеющими нулевые средние значения и заданные ковариационные матрицы:  $\mathbf{M}[\mathbf{w}_x(k)\mathbf{w}_x^T(j)] = \mathbf{Q}_x(k)\delta(k, j)$ ;

$$\mathbf{M}[\mathbf{w}_\varphi(k)\mathbf{w}_\varphi^T(j)] = \mathbf{Q}_\varphi(k)\delta(k, j); \quad \mathbf{M}[\mathbf{w}_x(k)\mathbf{w}_\varphi^T(j)] = \mathbf{Q}_{x\varphi}(k)\delta(k, j); \quad \mathbf{M}[\mathbf{v}(k)\mathbf{v}^T(j)] = \mathbf{R}(k)\delta(k, j).$$

$\mathbf{M}[\mathbf{w}_\varphi(k)\mathbf{v}^T(j)] = 0$ ;  $\mathbf{M}[\mathbf{w}_x(k)\mathbf{v}^T(j)] = 0$ . Начальные состояния  $\mathbf{x}(0)$ ,  $\boldsymbol{\varphi}(0)$  предполагаются некоррелированными с белыми гауссовыми последовательностями  $\mathbf{w}_\varphi(k)$ ,  $\mathbf{w}_x(k)$ ,  $\mathbf{v}(k)$  и представляют собой гауссовы случайные величины с параметрами:

$$\mathbf{M}[\mathbf{x}(0)] = \bar{\mathbf{x}}_0, \quad \text{Cov}[\mathbf{x}(0)] = \mathbf{P}_x(0), \quad \mathbf{M}[\boldsymbol{\varphi}(0)] = \bar{\boldsymbol{\varphi}}_0, \quad \text{Cov}[\boldsymbol{\varphi}(0)] = \mathbf{P}_\varphi(0) > 0, \quad \text{Cov}[\mathbf{x}(0)\boldsymbol{\varphi}^T(0)] = \mathbf{P}_{x\varphi}(0).$$

Рассматривая  $\mathbf{x}(k)$ ,  $\boldsymbol{\varphi}(k)$  в качестве переменных состояния  $\mathbf{z}(k)$  обобщенной системы, можно записать уравнения для расширенного фильтра Калмана в стандартной форме:

$$\mathbf{z}^*(k/k-1) = \mathbf{F}_z(k-1)\mathbf{z}^*(k-1/k-1); \quad (4)$$

$$\mathbf{z}^*(k/k) = \mathbf{z}^*(k/k-1) + \mathbf{K}_z(k)[\mathbf{y}(k) - \Pi(k)\mathbf{z}^*(k/k-1)]; \quad (5)$$

$$\mathbf{P}_z(k/k-1) = \mathbf{F}_z(k-1)\mathbf{P}_z(k-1/k-1)\mathbf{F}_z^T(k-1) + \mathbf{Q}_z(k-1); \quad (6)$$

$$\mathbf{K}_z(k) = \mathbf{P}_z(k/k-1)\Pi^T(k)[\Pi(k)\mathbf{P}_z(k/k-1)\Pi^T(k) + \mathbf{R}(k)]^{-1}; \quad (7)$$

$$\mathbf{P}_z(k/k) = [\mathbf{I} - \mathbf{K}_z(k)\Pi(k)]\mathbf{P}_z(k/k-1), \quad (8)$$

Общеизвестно, что сложность вычислений возрастает нелинейно с ростом размерности расширенного фильтра  $\sim (n+p)^3$  и во многих случаях модель (4) – (8) становится неприемлемой для практических приложений. Основным источником этих трудностей становится чрезмерная сложность вычислений взаимной корреляционной матрицы  $\mathbf{P}_{x\varphi}(k/k)$ . Устранение этой составляющей из рассмотрения будет способствовать существенному упрощению вычислений при практической реализации фильтра в виде цифрового специализированного устройства. В следующем подразделе предлагается квазиоптимальная двухкаскадная аппроксимация расширенного фильтра, без явных вычислений составляющей  $\mathbf{P}_{x\varphi}(k/k)$ .

### Структура модифицированного двухкаскадного фильтра для раздельного оценивания

Процесс синтеза квазиоптимального двухкаскадного фильтра состоит из двух этапов, и его можно описать следующим образом. На первом шаге проектируется фильтр, в котором зарождающиеся неисправности игнорируются, а для последующего учета возникшей неисправности, вводится дополнительный внешний вход. На втором шаге проектируется отдельный фильтр, который оценивает переменные зарождающейся неисправности с целью введения корректирующего воздействия в фильтр, свободный от неисправностей. Эти два фильтра составляют базис, на основе которого строится новый фильтр, в некотором смысле, эквивалентный исходному расширенному фильтру Калмана.

С формально-математической точки зрения структуры разделенных фильтров можно получить путем применения двух шагового линейного унитарного преобразования  $\mathbf{U}$ – $\mathbf{V}$  к расширенному фильтру Калмана, которое приводит ковариационные матрицы  $\mathbf{P}_z(k/k-1)$ ,  $\mathbf{P}_z(k/k)$  к диагональному виду. Эти преобразования имеют вид:

$$\mathbf{T}[\mathbf{U}(k)] = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{U}(k) \\ 0 & \mathbf{I} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{U}(k) \equiv \mathbf{P}_{x\varphi}(k/k-1)[\mathbf{P}_\varphi(k/k-1)]^{-1};$$

$$\mathbf{T}[\mathbf{V}(k)] = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{V}(k) \\ 0 & \mathbf{I} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{V}(k) \equiv \mathbf{P}_{x\varphi}(k/k)[\mathbf{P}_\varphi(k/k)]^{-1}.$$

Главной особенностью, введенных преобразований является то, что прямое и обратное

преобразования связаны очень простым соотношением, а именно  $\mathbf{T}^{-1}[\mathbf{U}(k)] = \mathbf{T}[-\mathbf{U}(k)]$ , т.е. отличие только в изменении знака. В связи с этим справедливы выражения, которые описывают взаимосвязь между переменными (4)–(8) в старой и вновь введенной координатной системе:

$$\begin{aligned} \mathbf{z}^*(k/k-1) &= \mathbf{T}[\mathbf{U}(k)]\hat{\mathbf{z}}(k/k-1); & \hat{\mathbf{z}}(k/k-1) &= \mathbf{T}[-\mathbf{U}(k)]\mathbf{z}^*(k/k-1); \\ \mathbf{z}^*(k/k) &= \mathbf{T}[\mathbf{V}(k)]\hat{\mathbf{z}}(k/k); & \hat{\mathbf{z}}(k/k) &= \mathbf{T}[-\mathbf{V}(k)]\mathbf{z}^*(k/k); \\ \mathbf{P}_z(k/k-1) &= \mathbf{T}[\mathbf{U}(k)]\hat{\mathbf{P}}_z(k/k-1)\mathbf{T}^T[\mathbf{U}(k)]; & \hat{\mathbf{P}}_z(k/k-1) &= \mathbf{T}[-\mathbf{U}(k)]\mathbf{P}_z(k/k-1)\mathbf{T}^T[-\mathbf{U}(k)]; \\ \mathbf{K}_z(k) &= \mathbf{T}[\mathbf{V}(k)]\hat{\mathbf{K}}_z(k); & \hat{\mathbf{K}}_z(k) &= \mathbf{T}[-\mathbf{V}(k)]\mathbf{K}_z(k); \\ \mathbf{P}_z(k/k) &= \mathbf{T}[\mathbf{V}(k)]\hat{\mathbf{P}}_z(k/k)\mathbf{T}^T[\mathbf{V}(k)]; & \hat{\mathbf{P}}_z(k/k) &= \mathbf{T}[-\mathbf{V}(k)]\mathbf{P}_z(k/k)\mathbf{T}^T[-\mathbf{V}(k)] \end{aligned}$$

### Заключение

Непосредственное применение указанных преобразований к расширенному фильтру Калмана позволяет предложить следующую параллельную структуру двухкаскадного фильтра, основанного на линейной комбинации выходов модифицированного фильтра, свободного от неисправностей, и фильтра, специализирующегося исключительно на оценивании динамики зарождающихся неисправностей:

$$\hat{\mathbf{x}}(k/k-1) = \mathbf{x}_1^*(k/k-1) + \mathbf{U}(k)\boldsymbol{\varphi}^*(k/k-1); \quad (9)$$

$$\hat{\mathbf{x}}(k/k) = \mathbf{x}_1^*(k/k) + \mathbf{V}(k)\boldsymbol{\varphi}^*(k/k); \quad (10)$$

$$\mathbf{P}_{11}(k/k-1) = \mathbf{P}_{x_1}(k/k-1) + \mathbf{U}(k)\mathbf{P}_{\boldsymbol{\varphi}}(k/k-1)\mathbf{U}^T(k) = \mathbf{M}\{[\mathbf{x}(k) - \hat{\mathbf{x}}(k/k-1)][\mathbf{x}(k) - \hat{\mathbf{x}}(k/k-1)]^T\}; \quad (11)$$

$$\mathbf{P}_{11}(k/k) = \mathbf{P}_{x_1}(k/k) + \mathbf{V}(k)\mathbf{P}_{\boldsymbol{\varphi}}(k/k)\mathbf{V}^T(k) = \mathbf{M}\{[\mathbf{x}(k) - \hat{\mathbf{x}}(k/k)][\mathbf{x}(k) - \hat{\mathbf{x}}(k/k)]^T\}; \quad (12)$$

$$\mathbf{P}_{12}(k/k-1) = \mathbf{U}(k)\mathbf{P}_{\boldsymbol{\varphi}}(k/k-1) = \mathbf{M}\{[\mathbf{x}(k) - \hat{\mathbf{x}}(k/k-1)][\boldsymbol{\varphi}(k) - \boldsymbol{\varphi}^*(k/k-1)]^T\}; \quad (13)$$

$$\mathbf{P}_{12}(k/k) = \mathbf{V}(k)\mathbf{P}_{\boldsymbol{\varphi}}(k/k) = \mathbf{M}\{[\mathbf{x}(k) - \hat{\mathbf{x}}(k/k)][\boldsymbol{\varphi}(k) - \boldsymbol{\varphi}^*(k/k)]^T\}; \quad (14)$$

$$\mathbf{P}_{22}(k/k-1) = \mathbf{P}_{\boldsymbol{\varphi}}(k/k-1) = \mathbf{M}\{[\boldsymbol{\varphi}(k) - \boldsymbol{\varphi}^*(k/k-1)][\boldsymbol{\varphi}(k) - \boldsymbol{\varphi}^*(k/k-1)]^T\}; \quad (15)$$

$$\mathbf{P}_{22}(k/k) = \mathbf{P}_{\boldsymbol{\varphi}}(k/k) = \mathbf{M}\{[\boldsymbol{\varphi}(k) - \boldsymbol{\varphi}^*(k/k)][\boldsymbol{\varphi}(k) - \boldsymbol{\varphi}^*(k/k)]^T\} \quad (16)$$

при следующих начальных условиях:

$$\mathbf{V}(0) = \mathbf{P}_{x_0}(0)\mathbf{P}_{\boldsymbol{\varphi}}^{-1}(0); \quad \hat{\mathbf{x}}(0/0) = \overline{\mathbf{x}_0} + \mathbf{V}(0)\overline{\boldsymbol{\varphi}_0}; \quad \boldsymbol{\varphi}^*(0/0) = \overline{\boldsymbol{\varphi}_0};$$

$$\mathbf{P}_{x_1}(0/0) = \mathbf{P}_{x_0}(0/0) - \mathbf{V}(0)\mathbf{P}_{\boldsymbol{\varphi}}(0/0)\mathbf{V}(0)^{-1}; \quad \mathbf{P}_{\boldsymbol{\varphi}}(0/0) = \mathbf{P}_{\boldsymbol{\varphi}}(0).$$

### Литература

1. Friedland B. Treatment of bias in recursive filtering / B. Friedland // IEEE Trans. Automatic Control. – 1969, vol. AC-14, P. 359–367,
2. Tacker E. C. Linear filtering in the presence of time varying bias / E. C. Tacker, C. C. Lee // IEEE Trans. Automatic Control. – 1972, Vol. AC-17, P. 828–829.
3. Ignagni M. B. Separate-bias Kalman estimator with bias state noise / M. B. Ignagni // IEEE Trans. Automatic Control. – 1990, Vol. AC-35, P. 338–341.
4. Alouani A. T. A two-stage filter for state estimation in the presence of dynamical stochastic bias / A. T. Alouani, T. R. Rice, W. D. Blair // Proc. Amer. Control Conf., Chicago, IL, 1992. – P. 1784–1788.
5. Alouani A. T. On the optimality of two-stage state estimation in the presence of random bias / A. T. Alouani, P. Xia, T. R. Rice, W. D. Blair // IEEE Trans. Automatic Control. – 1993, Vol. AC-38, P. 1279–1282.
6. Baranowski J. Bayesian fault detection and isolation using Field Kalman Filter / J. Baranowski, P. Bania, I. Prasad, T. Cong // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2017. – P. 52–63

### References

1. Friedland B. Treatment of bias in recursive filtering / B. Friedland // IEEE Trans. Automatic Control. – 1969, vol. AC-14, P. 359–367,
2. Tacker E. C. Linear filtering in the presence of time varying bias / E. C. Tacker, C. C. Lee // IEEE Trans. Automatic Control. – 1972, Vol. AC-17, P. 828–829.
3. Ignagni M. B. Separate-bias Kalman estimator with bias state noise / M. B. Ignagni // IEEE Trans. Automatic Control. – 1990, Vol. AC-35, P. 338–341.
4. Alouani A. T. A two-stage filter for state estimation in the presence of dynamical stochastic bias / A. T. Alouani, T. R. Rice, W. D. Blair // Proc. Amer. Control Conf., Chicago, IL, 1992. – P. 1784–1788.
5. Alouani A. T. On the optimality of two-stage state estimation in the presence of random bias / A. T. Alouani, P. Xia, T. R. Rice, W. D. Blair // IEEE Trans. Automatic Control. – 1993, Vol. AC-38, P. 1279–1282.
6. Baranowski J. Bayesian fault detection and isolation using Field Kalman Filter / J. Baranowski, P. Bania, I. Prasad, T. Cong // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing 2017. – P. 52–63.

УДК 621.325.5

O.V. ANDRIEIEVA

National Technical University of Ukraine, "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institutes", Ukraine  
elvian44@gmail.com

## HYBRID OPTIONS IN THE CONSTRUCTION OF SECURITY SYSTEMS AND THE IMPLEMENTATION OF THE DIGITAL HOME FUNCTIONS

*Security systems and digital home ("clever home") today are the testing ground for new computer technologies. Well-established security system is always open for updates. This paper shows the advantages of hybrid systems that can combine all the best features of today. The rapid development of computer technology often attracts developers of measuring systems in the race for innovations. In the world of electronics it is clear that the capabilities of measuring systems must always meet the requirements of the present time. However, everything is not so simple. Sometimes in the pursuit of something new proven reliable options and designs are unjustly discarded. At the same time, there is no guarantee that this innovation will not disappoint or let you down after a while. Quite often, a new development of a well-known company has the main goal to push the competitors and increase the volume of sales of the new product. Attention of potential buyers focuses exclusively on positive aspects, such as increased accuracy, computing power, increasing speed, reducing size and weight, etc. Thus disadvantages are ignored, however they are present and can subsequently occur. That's why the developers of security systems and experts in the implementation of the digital home functions ("smart homes") should be especially cautious and picky. They work in an area where the main customer requirements are often associated with a desire to get a reliable, non-standard, in a sense unique product. The requirement for a reasonable price is not always put forward. There is a strong flow of new products from the Internet (new modules, new standards, new line, etc.). It attracts offers to do everything on a turnkey hardware components supplier firms. Considering the foregoing, the most reliable to date is the hybrid version of data collection system setup that can combine together all the advantages of the well-known and new, i.e. ideally complement what works today reliably with that new that appears on the global market. This applies to all issues related to the construction of a data collection system: the choice of analogue or digital sensors; selection of video surveillance systems - analog or digital; selection of data transmission channels, wired or wireless, etc.*

*Keywords: digital home, security systems, smart house, wireless connection.*

О.В. АНДРЕЄВА

Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»  
elvian44@gmail.com

## ГІБРИДНІ ВАРІАНТИ ПРИ ПОБУДОВІ ОХОРОННИХ СИСТЕМ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ ЦИФРОВОГО БУДИНКУ

*У доповіді показані переваги використання гібридних варіантів в охоронних системах та при реалізації функцій розумного будинку. Охоронні системи для надійного функціонування потребують постійного тестування та оновлення обладнання. Однак після 5-6 років користування охоронну систему краще взагалі замінити на нову (або суттєво переробити). Світовий ринок електроніки пропонує безліч готових проектів охоронних систем. Слід враховувати, що охоронна система є найбільш привабливою з точки зору надійності, якщо вона являє собою оригінальну розробку, а не стандартну систему однієї з відомих компаній. Найбільш прийнятним варіантом за критерієм надійність/ціна може стати, так звана, гібридна охоронна система. Саме в ній простіше реалізувати нові нестандартні рішення. Гібридність в охоронну систему можуть додати такі рішення, як:*

- поєднання для сумісної роботи аналогових та цифрових камер відеоспостереження;*
- застосування двох (або більше) варіантів живлення пристроїв системи (а також засобів їх дистанційного підживлення);*
- поєднання двох варіантів ліній збору інформації від датчиків (дротові та бездротові лінії зв'язку).*

*Ключові слова: цифровий будинок, охоронні системи, розумний будинок, бездротовий зв'язок.*

**Video surveillance in the hybrid system.** For a long time surveillance developed only in analogue systems. Nowadays Cameras with 600-800 TVL successfully work in security systems. They have several advantages over IP-cameras (for example, on the street recording at night, especially when raining). The first digital-camera with a matrix resolution less than 1 megapixel (704x576) could not compete reliably working analog CCTV systems. However, today we use digital cameras with 3- and 5-megapixel sensors. Even more - there are models with a resolution of 20 megapixels and more. Digital cameras provide a transmission in a digital format over the Ethernet and Token Ring, using the IP protocol. The main difference from analog cameras is the absence of intermediate transformations. Image remains in digital format all the time after receiving from CCD - or CMOS - matrix until the digital display or monitor.

There are some problems during the upgrading of already working security surveillance systems (usually after 6 years of operation). In these cases the compromise solution is appropriate - the construction of a hybrid video surveillance system is one of them. This solution allows to leave a part of the equipment from analog video surveillance systems (e.g. 704x576), but in places where high detailing is necessary it is possible to set network IP

cameras with high resolution. This approach allows the creation of efficient and flexible system to obtain a gain in function. Advanced Hybrid solution allows to receive a number of advantages in the construction of new security systems since it successfully combines all the advantages of analog and IP-cameras. The surveillance system receive additional functions such as video analytics, the ability to work via a dedicated free cloud service "tescar-cloud" provides supporting of high-definition live video: standard 960H for analog signals and standard 1080p for digital. Also it supports a huge total storage capacity up to 12 TB, and recording video and audio streams synchronously.

**Interfaces for the hybrid systems.** Now measuring systems are used a new generation of electronic measurement instruments standard - LXI (LAN Extension for Instrumentation). This standard compared with the predecessors has a number of advantages at a low price: web interface, equal messaging, wired synchronization interface, the new distributed interface with synchronization on timestamps , etc.

It should be noted that the new standard allows for the construction of hybrid systems with the simultaneous use of multiple interfaces, including LXI, UXI, PXI. During upgrading of operating systems, adding LXI standard components associated with low expenses, because LAN is a low-cost technology.

**Wireless Networking "Smart house" and hybrid approach.** Keep in mind that wireless networks are short-range action can interact with each other. Special equipment may serve as a gateway between different wireless networks. For example, if system "ZigBee" detects intruders at territory of a Digital Home, it can communicate with a special security network IEEE 802.11 and activate thus the host computer and the security service.

Zig Bee competitors today can be considered a Z-Wave technology (also with cellular topography) and INSTEON -technology (simultaneous transmission of data on two channels: wired and wireless; can be operated without a central computer.

#### Conclusions:

In conclusion, it should be noted the following:

1. Despite the external domination of sales of digital meters, the relevance of analog sensors is not becoming less. This is explained not only by their miniature nature, but also by a number of other advantages. Developers of security systems and smart house functions are not in a hurry to part with a well-proven element base for gathering information about the state of the facility. The main criterion here is the reliability of the system and the absence of false positives.
2. The hybrid system of data collection for today are the best option in terms of price and quality due to the versatility, originality and openness for improvements.
3. Hybrid versions prepares a reliable platform with the element base for the construction of measuring systems of the future.

#### References

1. Hidden surveillance cameras. [Electronic resource]. Access mode:<http://www.gelezo.com/security/bezопасnost.html>.
2. Covert video surveillance systems. [Electronic resource]. Access mode: <http://www.mjelectronics.com/wireless.html>
3. Electronic Components and Systems. №2, Feb. 2013 article "Microcontrollers for Zig Bee-applications"p. 32.
4. Electronic security systems [electronic resource] / Kadino E. Trans. from fr. - М.: DMK Press, 2010.

#### Література

1. Скрытые видеокamеры наблюдения. [Электронный ресурс]. Режим доступа:<http://www.gelezo.com/security/bezопасnost.html>.
2. Covert video surveillance systems. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mjelectronics.com/wireless.html>.
3. ЭКиС. №2, февр. 2013. Ст."Микроконтроллеры для Zig Bee –приложений», с.32
4. Электронные системы охраны [Электронный ресурс] / Кадино Э. Пер. с фр. – М.: ДМК Пресс, 2010.



В.О. ВОЙТЕНКО, В.І. ПАНЧЕНКО

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
voitenkovaleriia14p@gmail.com**ПРОЕКТУВАННЯ ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ СИСТЕМНОЇ РОБОТИ З ФАЙЛАМИ БАЗ ДАНИХ**

*Анотація. Представлено розгляд структури, сутностей баз даних та властивостей метаданих. Описано етапи розробки застосунку для системної роботи з файлами баз даних. Представлено розгляд використаних патернів проектування для полегшення та спрощення етапів розробки та підтримки застосунку. Програмний продукт повинен коректно обробляти помилки та відмовлення в роботі не повинно приводити до втрат інформації. Приведені бібліотеки, за допомогою яких буде відбуватися тестування застосунку, для перевірки його працездатності та виконання необхідних задач.*

*Ключові слова: база даних, метадані, JavaFX, Java, MVVM, Lazy Load, MySql, SQL, JDBC.*

V.O. VOITENKO, V.I. PANCHENKO

National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"  
voitenkovaleriia14p@gmail.com**DESIGNING APPLICATION FOR SYSTEM WORK WITH DATABASE FILES**

*Annotation. The structure, database essences and metadata properties are presented. Our view is that, the database is structurally composed of metadata, so if we get metadata from one database, we can structurally recreate the same database. This is very useful when migrating data from one database management system to another.*

*Describes the stages of application development for system work with database files.*

*A review of the design patterns used to facilitate and simplify the development and maintenance of the application is presented. The modular structure of the application will allow adding additional components as needed.*

*The software product should handle errors correctly and refusal to work should not lead to loss of information. Listed libraries, which can be used to test the application.*

*The application is intended for obtaining metadata, generate sql code for the ability to further recreate the database, update the contents of the database and for the possibility of searching for the required table, form, function, procedure.*

*Compared to existing analogues, the program will have the following benefits: user-friendly interface, quick download and updating of database entities, and convenient display of metadata.*

*Keywords: database, metadata, JavaFX, Java, MVVM, Lazy Load, MySql, SQL, JDBC.*

Розроблення перших баз даних бере початок з 1960-х років. Вони використовуються для впорядкування певного набору даних для полегшення збереження та роботи з великою кількістю даних. Сучасні бази даних містять не тільки дані, але і їх опис та засоби їх обробки. За опис даних відповідають метадані. Тобто метадані містять інформацію про самі дані. Так як бази даних є дуже розповсюдженими в наш час, було вирішено спроектувати застосунок для системної роботи з файлами баз даних.

Наша думка полягає в тому, що база даних структурно складається з метаданих, тому при отриманні метаданих з однієї бази даних ми можемо структурно відтворити таку ж базу даних. Це є дуже корисним при міграції даних з однієї системи керування базами даних до іншої.

Застосунок розробляється як навчальний додаток для людей, яких цікавить робота з базами даних.

Застосунок призначений для отримання метаданих, генерування sql коду для можливості подальшого відтворення бази даних, оновлення змісту бази даних та для можливості пошуку необхідної таблиці, виду, функції, процедури.

Розробка інтерфейсу програми є одним з головних кроків, безсумнівно інтерфейс повинен бути зрозумілим і зручним в використанні. Для цього будемо використовувати платформу JavaFX. Для розробки застосунків за допомогою платформи JavaFX доступний багатий графічний і мультимедійний API, що спрощує створення візуальних програм.

Наступний крок – це написання самої програми. Засобом розробки є IntelliJ IDEA від компанії JetBrains. Мова програмування була обрана Java, щоб програму можна було виконати на будь-якій платформі.

Для з'єднання з базою даних буде використовуватися прикладний програмний інтерфейс Java DataBase Connectivity.

Java DataBase Connectivity — прикладний програмний інтерфейс Java, який визначає методи, за допомогою яких програмне забезпечення на Java здійснює доступ до бази даних. JDBC — це платформи-

---

незалежний промисловий стандарт взаємодії Java-застосунків з різноманітними СКБД, реалізований у вигляді пакета `java.sql`, що входить до складу Java SE.

Архітектура програмного комплексу буде відповідати патерну проектування MVVM, а модульна структура дозволить додавати в міру необхідності додаткові компоненти.

Програмний продукт повинен коректно обробляти помилки та відмовлення в роботі не повинно приводити до втрат інформації.

Для перевірки коректної праці програми буде виконано тестування програми за допомогою таких бібліотек: TestNG, JUnit, Mockito, TestFX.

Найскладнішою частиною в написанні нашої програми є отримання метаданих, генерування з них sql коду, завантаження та оновлення змісту бази даних.

В даному застосунку користувачеві буде надано 2 варіанти для початку роботи:

- створення нового з'єднання з базою даних
- відкриття збереженого проекту

У застосунку буде можливість довантажування даних, що дає можливість більш швидкої роботи та зменшує час завантаження усієї бази даних.

Очевидно, що для завантаження великого об'єму даних та інформації потрібно витратити багато часу. Для розв'язку цієї проблеми, було вирішено використовувати патерн Lazy Load. Патерн Lazy Load (Ледаче Завантаження) має на увазі відмову від завантаження додаткових даних, коли в цьому немає необхідності. Замість цього ставиться маркер про те, що дані не завантажені і їх треба завантажити в разі, якщо вони знадобляться.

SQL (Structured query language — мова структурованих запитів) — декларативна мова програмування для взаємодії користувача з базами даних, що застосовується для формування запитів, оновлення і керування реляційними БД, створення схеми бази даних та її модифікації, системи контролю за доступом до бази даних.

Як систему керування базами даних, з якої будемо отримувати метадані, будемо використовувати MySQL. Система керування базами даних – це комплекс програмного забезпечення, що надає можливості створення, збереження, оновлення та пошуку інформації в базах даних з контролем доступу до даних. MySQL – це одна з найпоширеніший систем керування реляційними базами даних з відкритим кодом.

У порівнянні з існуючими аналогами, програма буде мати такі переваги: зручний та зрозумілий інтерфейс, швидке завантаження та оновлення сутностей баз даних, зручне відображення метаданих.

### **Література**

1. Э. Фримен Паттерны проектирования. / Э. Фримен. – М.:Питер, 2015. - 656 с.
2. Б. Шварц MySQL. Оптимизация производительности. / Б. Шварц. – М.:Символ, 2010. – 823 с.

### **References**

1. E. Frimen Patterny proektirovaniia. / E. Frimen. – М.:Piter, 2015. - 656 s.
2. B. Shvarts MySQL. Optimizatsiia proizvoditelnosti. / B. Shvarts. – М.:Simvol, 2010. – 823 s.

А.В. РУДИК

Національний авіаційний університет  
andrey4453117@gmail.com

В.А. РУДИК

Київський національний університет будівництва і архітектури

## РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПРИЛАДОВОЇ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Для обчислення з високою точністю відстані до перешкоди за значеннями кількості лічильних імпульсів та швидкості ультразвуку в повітрі проведено розробку та аналіз моделей штучної нейронної мережі (ШНМ) типу *Feed-forward* (FF) і *Cascade-forward* (CF).

За результатами проведеного аналізу ШНМ типу *Cascade-forward* показали кращі результати, ніж ШНМ типу *Feed-forward*, при цьому CF-мережі за точністю мають приблизно однакові результати (для ШНМ з одним прихованим шаром  $MSE=1.577$  мм,  $MAE=2.035$  мм, а для ШНМ з двома прихованими шарами  $MSE=1.412$  мм,  $MAE=1.892$  мм). Однак за рахунок кращих точнісних характеристик для використання в приладових системах МР пропонується ШНМ CF-типу з двома прихованими шарами.

Ключові слова: штучна нейронна мережа, мобільний робот, приладова система, навчання, нейрон, передавальна функція, функція активації, середньоквадратична похибка, прихований шар.

A.V. RUDYK

National Aviation University

V.A. RUDYK

Kiev National University of Civil Engineering and Architecture

## DEVELOPMENT THE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK OF THE MOBILE-ROBOTS DEVICE SYSTEM

To calculate with high accuracy the distance to the obstacle by the number of counting pulses and the speed of ultrasound in the air, the models of an artificial neural network (ANN) of the *Feed-forward* (FF) and *Cascade-forward* (CF) type were developed and analyzed. The nature of the nonlinearity and the complexity of the relationship between the parameters are unknown in advance, so the number of hidden layers, neurons in the layers and the activation functions of neurons are chosen experimentally. As a result of the analysis, a set of 69 ANN models of different structures was developed and analyzed. For learning, the method of backward propagation of error was used. Based on the results of the analysis of 20 CF-type ANNs, the most accurate is an ANN consisting of 6 neurons with transfer function (TF) *tansig* and 9 neurons with TF *purelin* in the hidden layers and one neuron with TF *purelin* in the output layer. As a result of the training of this ANN with the duration of the 42nd epoch, the mean square error (MSE) of the training was 0.723 mm, and according to the results of the ANN testing on an additional sample, the MSE was 1.526 mm and the average absolute error was 1.965 mm.

Since in the learning process the full sample is divided into parts (60% for training, 20% for testing during training and 20% for testing), then the adequacy of the developed models was not tested on the training data vectors. For the final selection of the ANN structure, the samples for testing and testing were combined in a total size of 50, and the accuracy of the models that had previously shown the best results was checked on this combined sample. Based on the results of the analysis, the ANN of the CF-type showed better results than the ANN of the FF-type, while the CF networks have approximately the same accuracy (for an ANN with one hidden layer  $MSE=1.577$  mm,  $MAE=2.035$  mm, two hidden layers  $MSE=1.412$  mm,  $MAE=1.892$  mm). However, due to the best accuracy characteristics for use in MR systems, an ANN CF-type with two hidden layers is proposed.

Keywords: artificial neural network, mobile robot, instrument system, training, neuron, transfer function, activation function, mean square error, hidden layer.

Проведений в [1] аналіз показав, що існують досить сильні кореляційні взаємозв'язки між відстанню до перешкоди, вимірюваною ультразвуковим далекоміром мобільного робота (МР), та кількістю лічильних імпульсів і швидкістю ультразвуку в повітрі, яка є функцією групи кліматичних факторів. Тому саме ці параметри необхідно використовувати як інформаційні для визначення відстані до перешкоди.

Для збору даних при постановці експериментів МР переміщувався по прямій зі швидкостями 0.25 м/с, 0.5 м/с та 0.75 м/с, а час переміщення вибирався таким чином, щоб переміщення МР складало приблизно (3...5) м. При переміщенні МР зчитувалися показання ультразвукового далекоміра з частотою 5 Гц, кінцева точка переміщення фіксувалася за допомогою зовнішніх вимірювань, а за отриманими даними розраховувалися 10 проміжних позицій МР. Для дослідження взаємозв'язку між вказаними параметрами створено вибірку з 200 контрольних значень. Характер зв'язку між цими параметрами є складним і залежить від багатьох факторів, які важко встановити аналітично.

Для обчислення з високою точністю відстані до перешкоди за значеннями кількості лічильних імпульсів та швидкості ультразвуку в повітрі проведено розробку та аналіз моделей ШНМ типу *Feed-forward* (FF) і *Cascade-forward* (CF). Характер нелінійності та складності взаємозв'язку між параметрами заздалегідь невідомий, тому кількість прихованих шарів, нейронів у шарах та функції активації нейронів вибиралися експериментально. В результаті проведеного аналізу створено і проаналізовано набір з 69 моделей ШНМ різної структури. Для навчання використовувався метод зворотного поширення помилки. Значення

середньоквадратичної помилки ШНМ розраховується за формулою  $E = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^L \sum_j (y_j^k - m_{1,2}^k)^2$ , де  $L$  – розмірність навчальної вибірки;  $m_{1,2}$  – пара еталонних координат реальної позиції МР.

Для навчання ШНМ в якості еталонних значень використовуються координати реальної позиції робота, яка оцінюється за допомогою двох підходів – відеореєстрації робота за допомогою камери, закріпленої на стелі, і ручного вимірювання. Була здійснена спроба вимірювання реальної позиції на основі інфрачервоних далекомірів, але похибки даних сенсорів не дозволили зробити висновок про реальну якість роботи нейронної мережі. Для навчання нейронної мережі була підготовлена навчальна вибірка загальним розміром  $L = 120$ , при цьому власне для навчання використано вибірку розміром 70, а для перевірки при навчанні та тестування – вибірки розміром по 25.

Навчання і тестування проводилося засобами додатку *Neural network toolbox* пакету прикладного програмного забезпечення *MatLab* за допомогою функції *trainlm* з використанням алгоритму, що модифікує вагові коефіцієнти і зсуви за методом оптимізації Левенберга-Марквардта. Критерієм ефективності навчання була середньоквадратична помилка (СКП), а максимальна кількість епох становила 100 без часового обмеження процесу. Роботу кожної з створених моделей ШНМ було протестовано на додатковій вибірці з 25 значень, які не використовувались в процесі навчання. Основними критеріями для вибору оптимальної структури і параметрів ШНМ були середньоквадратична (*MSE*) та середня абсолютна (*MAE*) похибки при порівнянні дійсних значень з даними, отриманими в результаті роботи ШНМ. В результаті даного вибору було відкинуто надмірно адаптовані моделі, що не підходять для реалізації, а також ті, що мають відносно високі похибки за рахунок структури, що не відповідає характеру взаємозв'язку. Далі розглянемо деякі ШНМ, при моделюванні яких було отримано кращі результати.

За результатами аналізу 18 розроблених моделей типу *FF* з одним прихованим шаром найкращі результати за критерієм максимальної точності отримано при використанні ШНМ, яка має прихований шар (*Hidden Layer*), що складається з восьми нейронів з *tansig*-функцією активації, і вихідний шар (*Output Layer*), який складається з одного нейрона з *logsig*-функцією активації. Навчання ШНМ продовжувалось від 20 до 100 епох, при цьому СКП залежно від структури мережі (кількості нейронів у прихованому шарі) та кількості епох навчання знаходилася в межах від 1.357 мм до 2.352 мм. Вибіркові дані щодо результатів оцінки СКП навчання ШНМ в залежності від структур мереж типу *FF* і *CF* наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати оцінки СКП навчання ШНМ в залежності від структур мереж типу *FF* та *CF*

Кількість нейронів у прихованих шарах та кількість епох навчання (значення наведено в дужках)				Середньоквадратична похибка навчання ШНМ, мм			
<i>Feed-forward</i>		<i>Cascade-forward</i>		<i>Feed-forward</i>		<i>Cascade-forward</i>	
шар 1	шари 1 і 2	шар 1	шари 1 і 2	шар 1	шари 1 і 2	шар 1	шари 1 і 2
6 (100)	8 і 4 (40)	5 (25)	6 і 8 (28)	2.352	1.989	1.767	1.388
6 (50)	8 і 4 (26)	6 (26)	6 і 8 (36)	2.097	1.761	1.544	1.159
6 (20)	10 і 4 (30)	6 (32)	7 і 9 (32)	1.783	1.663	1.431	1.212
8 (100)	10 і 4 (16)	7 (26)	7 і 9 (40)	1.649	1.526	1.372	1.034
8 (50)	11 і 5 (26)	<b>7 (32)</b>	6 і 9 (36)	1.516	1.478	<b>1.045</b>	0.865
<b>8 (20)</b>	11 і 5 (16)	7 (40)	<b>6 і 9 (42)</b>	<b>1.357</b>	1.367	1.154	<b>0.723</b>
10 (50)	<b>11 і 7 (26)</b>	8 (22)	7 і 8 (30)	1.492	<b>1.143</b>	1.267	0.882
10 (20)	11 і 7 (16)	8 (30)	7 і 8 (44)	1.565	1.259	1.193	0.911
12 (50)	12 і 6 (30)	9 (26)	8 і 10 (32)	1.886	1.371	1.233	1.055

В процесі досліджень кількість нейронів у прихованому шарі змінювалась від 6 до 12. При збільшенні кількості нейронів до 15 ШНМ запам'ятовувала вхідні образи і на нових даних показувала незадовільні результати. При порівнянні значень відстані до перешкоди (поточного положення МР), отриманих за допомогою ШНМ, з дійсними значеннями визначено, що СКП становить 2.943 мм, а середня абсолютна похибка складає 3.862 мм. Найкращі результати при аналізі 16 мереж типу *FF* з двома прихованими шарами отримано при тестуванні ШНМ, приховані шари якої складаються відповідно з 11 та 7 нейронів з передавальними функціями *tansig*, а вихідний шар – з одного нейрона з аналогічною передавальною функцією. Навчання мережі тривало 26 епох, а СКП навчання складає 1.143 мм (табл. 1). За результатами тестування ШНМ на додатковій вибірці отримано СКП 2.492 мм та середню абсолютну похибку 3.251 мм.

При дослідженні каскадних ШНМ типу *CF* з одним прихованим шаром серед 15 варіантів максимальну точність при навчанні отримано в мережі, прихований шар якої складається з 7 нейронів з передавальними функціями (ПФ) *tansig*, а вихідний шар – з одного нейрона з ПФ *logsig*. Навчання ШНМ проходило 32 епохи, при цьому СКП навчання складає 1.045 мм (табл. 1). Однак при порівнянні дійсних значень з визначеними ШНМ СКП становила 2.247 мм, а середня абсолютна похибка – 2.919 мм.

Тому що точнісні характеристики даної каскадної ШНМ приблизно такі самі, що і у мережі типу *FF* з двома прихованими шарами, було розроблено, навчено і проаналізовано 20 ШНМ *CF*-типу з двома

прихованими шарами. За результатами проведеного аналізу найбільш точною є ШНМ (рис. 1), яка складається з 6 нейронів з ПФ *tansig* і 9 нейронів з ПФ *purelin* у прихованих шарах та одного нейрона з ПФ *purelin* у вихідному шарі. За результатами навчання такої ШНМ тривалістю 42 епохи отримано СКП навчання 0.723 мм (табл. 1), а за результатами тестування ШНМ на додатковій вибірці отримано СКП 1.526 мм та середню абсолютну похибку 1.965 мм.

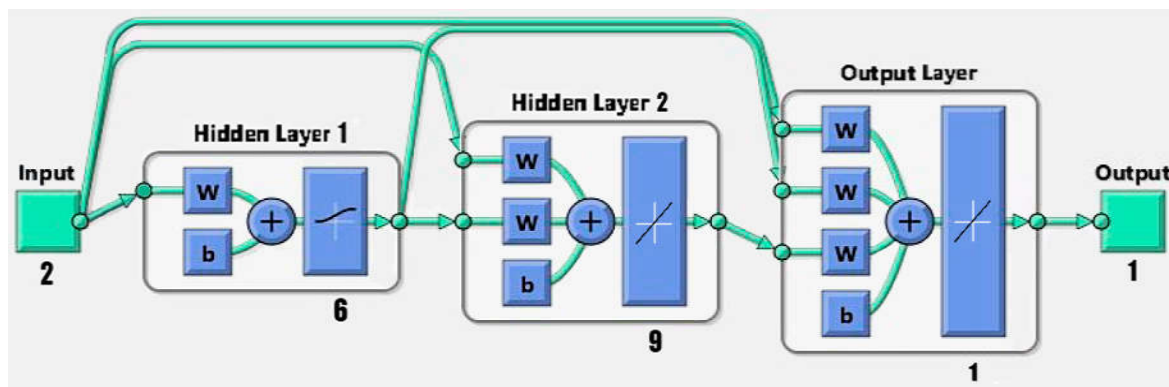


Рис. 1. Структура ШНМ типу Cascade-forward з двома прихованими шарами

Тому що в процесі навчання загальна вибірка розділена на частини (60% для навчання, 20% для перевірки при навчанні та 20% для тестування), то адекватність розроблених моделей не перевірялася на навчальних векторах даних. Для остаточного вибору структури ШНМ було об'єднано вибірки для тестування і перевірки при навчанні загальним розміром 50 та перевірено на цій об'єднаній вибірці точність моделей, що попередньо показали найкращі результати.

За результатами проведеного аналізу ШНМ типу *Cascade-forward* показали кращі результати, ніж ШНМ типу *Feed-forward*, при цьому *CF*-мережі за точністю мають приблизно однакові результати (для ШНМ з одним прихованим шаром  $MSE=1.577$  мм,  $MAE=2.035$  мм, а для ШНМ з двома прихованими шарами  $MSE=1.412$  мм,  $MAE=1.892$  мм). Однак за рахунок кращих точнісних характеристик для використання в приладових системах МР пропонується ШНМ *CF*-типу з двома прихованими шарами (рис. 1).

Розрахунок значення відстані до перешкоди (поточної координати МР) за результатами оцінки швидкості ультразвуку в повітрі та кількості лічильних імпульсів проводиться за такими формулами [2]:

$$L = f \left( w_1^{31} f(V_3) + w_2^{31} f(N) + \sum_{n=1}^6 (a_n^1 w_n^{32}) + \sum_{k=1}^9 (a_k^2 w_k^{33}) + b^3 \right);$$

$$a_n^1 = f(w_{1,n}^{11} f(V_3) + w_{2,n}^{11} f(N) + b_n^1); \quad a_k^2 = f \left( w_{1,k}^{21} f(V_3) + w_{2,k}^{21} f(N) + \sum_{n=1}^6 (a_n^1 w_{k,n}^{22}) + b_k^2 \right),$$

де  $f$  – функція активації нейрона;  $n, k$  – порядкові номери нейронів шарів;  $f(V_3), f(N)$  – приведені сигнали швидкості ультразвуку в повітрі та кількості лічильних імпульсів;  $w_i^j, b_i^j$  – вагові коефіцієнти та зсуви нейронів;  $a_n^1, a_k^2$  – вихідні сигнали нейронів першого і другого прихованих шарів.

## Література

1. Рудык, А. В. Исследование влияния климатических факторов на оценку точности ультразвукового дальномера системы технического зрения мобильного робототехнического комплекса / А. В. Рудык // Вестник Азербайджанской Инженерной Академии. – 2018. – Т. 10, № 1. – С. 122-132.

2. Клепач, М. М. Методи та технічні засоби контролю якісних показників нафтопродуктів з використанням нейромережевих технологій: автореферат дис. на здобуття наук. ступ. к.т.н. / М. М. Клепач. – Івано-Франківськ : Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2015. – 21 с.

## References

1. Rudyk, A. V. Issledovanie vliyaniya klimaticheskikh faktorov na otsenku tochnosti ultrazvukovogo dalnomera sistemyi tehničeskogo zreniya mobilnogo robototehničeskogo kompleksa / A. V. Rudyk // Vestnik Azerbaydzhanskoj Inzhenernoy Akademii. – 2018. – T. 10, # 1. – S. 122-132.

2. Klepach, M. M. Metody ta tekhnichni zasoby kontroliu yakisnykh pokaznykiv naftoproduktiv z vykorystanniam neiromerezhevykh tekhnolohii: avtoreferat dys. na zdobuttia nauk. stup. k.t.n. / M. M. Klepach. – Ivano-Frankivsk : Ivano-Frankivskyi natsionalnyi tekhnichniy universytet nafty i hazu, 2015. – 21 s.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Представлено архитектуру, а также применение облачных вычислений. Предложен математический обзор для описания сложных процессов преобразования информации.

**Ключевые слова:** облачные вычисления; технология облачных вычислений; туманные технологии; интернет вещей; топологические пространства

O. KOVTUN, O. LESHCHENKO, K. DUKHNOVSKA

Taras Shevchenko National University of Kyiv

## RESEARCH OF CLOUD TECHNOLOGIES

**Abstract** – The paper considers the architecture, as well as the application of cloud computing technology. In the general case, the cloud-computing environment includes hardware platform, virtualization tools, management and monitoring tools, data storage system; security service. When using and building a cloud infrastructure, complex tasks arise where efficient management is required. Cloud computing technologies can be used in heterogeneous information systems, in which it is necessary to provide efficient management. All these aspects require the study of cloud computing technology, which involves complex processes of information conversion.

To study cloud-computing technology, a mathematical apparatus is proposed that describes complex processes of information transformation in dynamic systems. The mathematical description of such a system has three main components: the phase space, time, and the law of evolution.

Depending on the problem, one can consider either continuous time (when the state of the system is of interest at each moment), or discrete (when the system's state of interest in isolated moments of time is of interest). Generally, the phase space of a dynamical system is endowed with a certain structure: a measure, a topology, a structure of a smooth manifold; Evolution operators are coordinated with this structure, that is, they maintain the measure, are continuous, smooth. Therefore, for the study of the properties of a cloud system, the properties of topological spaces are investigated.

The development of cloud infrastructure as a complex dynamic system has been studied. This will significantly save the resources needed to ensure the functioning of information systems. The implementation of information systems using cloud-computing technologies will ensure the management of information processing processes and the necessary level of access control to the physical resources of information systems, which ultimately leads to a reduction in the total cost of creating, developing and operating cloud systems.

**Keywords:** cloud-computing; cloud computing technology; fog technologies; internet of things; dynamic system, phase space, topological space, topological dynamics, differential dynamics.

Облачные вычисления (*cloud computing*) являются одним из наиболее популярных направлений развития ИТ. Это предоставление вычислительных услуг — серверов, хранилищ, баз данных, сетей, программного обеспечения, аналитики и многого другого через Интернет («облако»). Они основаны на масштабированных и виртуализованных ресурсах (данных и программах), которые доступны пользователям через *Интернет* и реализуются на базе мощных центров обработки данных (*data centers*).

Значительную роль в появлении облачных технологий сыграло создание многоядерных процессоров и увеличение емкости накопителей информации а также развитие таких сетей как SDN, FTTH [1, 2]. Таким образом, основой для создания и быстрого развития облачных технологий послужили крупные интернет-сервисы, такие как Google, Amazon, а также технический прогресс, что, по сути, говорит о том, что появление облачных вычислений было всего лишь делом времени [3; 4].

Учеными Национального института стандартов и технологий (NIST) [5] США разработана эталонная архитектура облачных вычислений состоящая из: трех сервисных моделей (SaaS, PaaS, IaaS), четырех моделей развертывания (частное облако - private cloud/общее облако - community cloud/публичное облако - public cloud/ гибридное облако - hybrid cloud) и пяти основных характеристик (on-demand self-service/broad network access/resource pooling/rapid elasticity/measured service)

## Архитектура облачных вычислений

Облачная система может функционировать в одной из четырех моделей: *Private cloud*: Облачная инфраструктура функционирует целиком в целях обслуживания одной организации. Инфраструктура может управляться самой организацией или третьей стороной и может существовать как на стороне потребителя (on premise) так и у внешнего провайдера (off premise). *Community cloud*: Облачная инфраструктура используется совместно несколькими организациями и поддерживает ограниченное сообщество, разделяющими общие принципы. Такая облачная инфраструктура может управляться самими организациями или третьей стороной и может существовать как на стороне потребителя (on premise) так и у внешнего провайдера (off premise).

*Public cloud*: Облачная инфраструктура создана в качестве общедоступной или доступной для большой группы потребителей. Такая инфраструктура находится во владении организации, продающей

соответствующие облачные услуги/ предоставляющей облачные сервисы.

*Hybrid cloud*: Облачная инфраструктура является композицией (сочетанием) двух и более облаков (частных, общих или публичных), остающихся уникальными сущностями, но объединенными вместе стандартизированными технологиями, обеспечивающими портируемость данных и приложений между такими облаками (например, такими технологиями, как пакетная передача данных для баланса загрузки между облаками).

Недостаток облачных вычислений в том, что пользователь оказывается полностью зависимым от используемого им "облака" (в котором доступны используемые им данные и программы) и не может управлять не только работой "облачных" компьютеров, но даже резервным копированием своих данных. В связи с этим возникает целый ряд важных вопросов о безопасности облачных вычислений, сохранении конфиденциальности пользовательских данных и т.д.; далеко не все из них на данный момент решены.

Серьезной проблемой организации облачных вычислений с точки зрения аппаратуры центров обработки данных является экономия электроэнергии и проблема распределения загрузки, так как облачные вычисления в каждом центре обработки данных имеют (или в ближайшем будущем будут иметь) миллионы удаленных пользователей. В настоящее время *целый* ряд крупных, в том числе – правительственных и коммерческих организаций США закрывают свои центры обработки данных (ЦОД), в связи со слишком большими энергозатратами. В самом деле, ЦОД может занимать одно или несколько огромных зданий.

Возникают сложные задачи при использовании и построении сложной облачной инфраструктуры, при которых необходимо обеспечить эффективное управление. Кроме этого конвергенция технологий Интернета вещей и облачных вычислений, приобретает все большее распространение и является быстро развивающимся и перспективным для дальнейшего исследования.

Все эти аспекты требуют исследования технологии облачных вычислений, в которой происходят сложные процессы преобразования информации.

### Исследование технологии облачных вычислений

Математическое описание динамической системы [6] имеет три основных компонента: фазовое пространство, время и закон эволюции [6]. Фазовое пространство – это некоторое множество, элементы которого отождествляются с состоянием системы. Рассмотрение эволюции системы требует привлечения времени. В зависимости от задачи может рассматриваться или непрерывное время (когда интересуют состояние системы в каждый момент), или дискретное (когда интересуют состояние системы в отдельно изолированные моменты времени).

Рассмотрим, что если в данный момент система находится в состоянии  $x \in X$  ( $X$  – фазовое пространство), то через промежуток времени  $t$  система будет находиться в однозначно определенно состоянии которое обозначим  $F(x, t)$ . При фиксированном  $t$  получаем отображение  $\varphi^t : x \rightarrow F(x, t)$  фазового пространства в себя.

Пусть  $T$  обозначает одно из множеств  $\square, \mathfrak{I}, \square_+, \mathfrak{I}_+$ . Тогда динамической системой будем называть такое семейство  $\{\varphi^t\}_{t \in T}$  отображений  $\varphi^t : X \rightarrow X$  некоторого непустого множества  $X$  в себя, что выполняются равенства (1.1) и (1.2) для всех допустимых  $s$  и  $t$ . Если  $T = \square$  то система называется потоком, если  $T = \square_+$  – полупотоком; в обоих случаях говорят о системе с непрерывным временем.

Множество  $X$  называется фазовым пространством системы, а отображение  $\varphi^t$  – эволюционным оператором. Обычно фазовое пространство динамической системы наделено некоторой структурой: например, мерой, топологией, структурой гладкого многообразия; эволюционные операторы же согласованы с этой структурой, то есть, соответственно, сохраняют меру, непрерывны, гладки. Соответственно выделяются направления теории динамических систем: эргодическая теория, топологическая динамика, дифференциальная динамика (теория гладких динамических систем) и др.

Дискретная динамическая система вполне определяется одним отображением  $\varphi = \varphi^1$ . Непрерывные динамические системы чаще всего задаются не явным указанием эволюционных операторов, а с помощью автономных дифференциальных уравнений. Пусть в открытой области  $U$  пространства  $\square^n$  задана автономная (с не зависящими от  $t$  правыми частями) система дифференциальных уравнений  $\dot{x}^i = f^i(x_1, \dots, x_n)$ , ( $i = 1, \dots, n$ ), которая имеет единственное решение с любым начальным условием, принадлежащим  $U$  (для этого достаточно непрерывной дифференцируемости функций  $f_i$  в области  $U$ ).

Предположим, что каждое решение системы можно продолжить на всю вещественную ось. Тогда система (1.3) задает непрерывную динамическую систему с фазовым пространством  $U$  и эволюционными операторами  $\varphi^t : U \rightarrow U$ , которые точкам  $x_0 \in U$  ставят в соответствие значение в момент  $t$  решения  $\psi$  системы (1.3) с начальными условиями  $\psi(0) = x_0$ . Дифференциальные уравнения естественно рассматривать на дифференцируемых многообразиях, причем автономные дифференциальные уравнения находятся в естественной связи с векторными полями.

Всякий поток  $\{\varphi^t\}_{t \in T}$  порождает дискретную динамическую систему  $\{\varphi^t\}_{t \in \mathbb{Z}}$ , если ограничить время только целыми значениями, аналогично, можно рассматривать дискретные динамические системы вида  $\{\varphi^{nt_0}\}_{t \in \mathbb{Z}}$ , где  $t_0$  - фиксированное число. В этом случае дискретная динамическая система представляет собой итерации отображения  $\varphi^{t_0}$ , которое называется отображение сдвига за время  $t$  для потока  $\{\varphi^t\}_{t \in \mathbb{R}}$ . Однако лишь немногие дискретные динамические системы могут быть получены таким образом.

Таким образом, технологии облачных вычислений могут применяться в разнородных информационных системах, в которых необходимо обеспечить эффективное управление. Развитие облачной инфраструктуры, можно исследовать как сложную динамическую систему. Это позволит существенно сэкономить ресурсы, необходимые для обеспечения функционирования информационных систем. Реализация информационных систем с использованием технологий облачных вычислений позволит обеспечить управление процессами обработки информации и необходимый уровень контроля доступа к физическим ресурсам информационных систем, что в конечном счете приведет к снижению совокупной стоимости создания, развития и функционирования информационных систем.

### Литература

1. Kravchenko Y. Topology of Optical Networks FTTH (Fiber-to-the-Home) / Y. Kravchenko, S. Tolyupa, O. Barabash, A. Trush, O. Leshchenko // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 7 (1229), pp. 150 – 155.
2. Barabash O. Optimization of Parameters at SDN TechnologieNetworks/O. Barabash, Y. Kravchenko, V. Mukhin, Y. Kornaga, O. Leshchenko // International Journal of Intelligent Systems and Appli № 9. – Hong Kong: MECS Publisher, 2017 cations, - P 1-9.
3. Губарев В. В., Савульчик С. А. Введение в облачные вычисления и технологии. – Новосиб.: НГТУ, 2013. – 48 с.
4. Девятков В. В. Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: монография. – М.: Вуз. учеб.: ИНФРА-М, 2013. – 448 с.
5. Mell, Peter and Grance, Timothy. The NIST Definition of Cloud Computing. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. NIST (20 October 2011).
6. Каток А. Б., Хасселблат Б. Введение в современную теорию динамических систем / М. : Факториал, 1999. — 768 с.

### References

1. Kravchenko Y. Topology of Optical Networks FTTH (Fiber-to-the-Home) / Y. Kravchenko, S. Tolyupa, O. Barabash, A. Trush, O. Leshchenko // Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, 7 (1229), pp. 150 – 155.
2. Barabash O. Optimization of Parameters at SDN TechnologieNetworks/O. Barabash, Y. Kravchenko, V. Mukhin, Y. Kornaga, O. Leshchenko // International Journal of Intelligent Systems and Appli № 9. – Hong Kong: MECS Publisher, 2017 cations, - P. 1-9.
3. Gubarev V.V., Savulchik S.A. Introduction to cloud computing and technology. - Novosibirsk: NSTU, 2013. - 48 s.
4. Devyatkov V.V. Methodology and technology of simulation studies of complex systems: the present state and prospects of development: monograph. - M. : Vuz. study: INFRA-M, 2013. - 448 p.
5. Mell, Peter and Grance, Timothy. The NIST Definition of Cloud Computing. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. NIST (20 October 2011).
6. Katok A. B., Hasselblat B. Introduction to the Modern Theory of Dynamic Systems / M.: Factorial, 1999. - 768 p.



Р.В. ТРЕМБОВЕЦЬКА, В.Я. ГАЛЬЧЕНКО, В.В. ТИЧКОВ

Черкаський державний технологічний університет  
r.trembovetska@chdtu.edu.ua**МЕТАМОДЕЛЮВАННЯ ЯК МЕТОД ПРОЕКТУВАННЯ  
ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З АПРІОРИ  
ВИЗНАЧЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

Виконано побудову метамоделі вихрострумового перетворювача з використанням MLP нейронної мережі.  
Оцінено адекватність та інформативність отриманої метамоделі.

**Ключові слова:** вихрострумовий перетворювач, розподіл щільності вихрових струмів, метамодель, ЛП-  
последовності, MLP нейронна мережа

R.V. TREMBOVETSKA, V.Ya. HALCHENKO, V.V. TYCHKOV

Cherkasy State Technological University  
r.trembovetska@chdtu.edu.ua**METAMODELIZATION AS A METHOD OF EDDY-CURRENT PROBE DEVELOPING WITH THE PROVIDED  
PROPERTIES APRION**

**Annotation** - The problem of a homogeneous eddy-current density distribution in a control object creating can be solved by using surrogate optimization, the application of which involves the construction of the eddy-current probe surrogate model (metamodel). When solving the problem, a developing metamodel heuristic method based on neural networks is used. As an approximation in this study, a neural MLP-network is used on a multilayered perceptron. Because of the possible complexity of the response in this study hypersurface topology, a computer method of filling a multidimensional search space, which provides a high probability of homogeneous filling it with reference points, in which the resource-intensive target function values are subsequently calculated, is used. To obtain the points of the experiment plan, use the LP  $\tau$ -sequence ( $\zeta_1, \zeta_2$ ) for 255 reference points. In the probing points obtained coordinates, the target function values were calculated. As an overhead eddy-current probe, an actuator with an alternating current  $I$  and a frequency  $\omega$  that is located at a height  $z_0$  above the control object of thickness  $d$  with constant specific electrical conductivity  $\sigma$  and magnetic penetration  $\mu_r$ , was used in the work. The medium was considered linear, isotropic. At the stage of neural networks training, selection of the best was carried out according to indicators: determination coefficient, the forecast error standard deviations ratio and learning data  $S$ , model error average relative magnitude, residues histogram, scattering diagram. The received metamodel adequacy was evaluated according to the indicators: the sum of the squares of regression  $SS_D$ , the remnants  $SS_R$ , the total  $SS_T$ ; middle squares,  $MS_D$ ,  $MS_R$ ,  $MS_T$ , respectively; reproducibility dispersion  $\sigma_D^2$ , adequacy variance  $\sigma_R^2$ , general  $\sigma_T^2$ ; reproducibility estimation standard error  $s_D$ , adequacy estimation standard error  $s_R$ , general  $s_T$ ; determination coefficient  $R^2$ ; standard deviations ratio  $S.D.$ ratio; model error average relative magnitude (or average approximation error)  $MAPE, \%$ .

**Keywords:** eddy-current probe, eddy-current density distributions, metamodel, LP  $\tau$ -sequence, MLP neural network

Для всіх типів вихрострумових перетворювачів (ВСП) розподіл щільності вихрових струмів (ЩВС) в масиві струмопровідного матеріалу об'єкту контролю (ОК) є неоднорідним. Бажаним (ідеальним) для вихрострумового контролю є однорідний розподіл ЩВС в зоні контролю ВСП. Технічно реалізувати такий розподіл ЩВС в класичних конструкціях ВСП неможливо. Максимально наблизити результуючий розподіл ЩВС до ідеального можна побудовою котушок збудження ВСП у вигляді системи котушок певної структури з їх узгодженням або зустрічним включенням по полю. Задача створення ідеального розподілу ЩВС в зоні контролю можлива в рамках задачі оптимального синтезу з використанням сурогатної оптимізації, застосування якої передбачає побудову сурогатної моделі (метамоделі) ВСП. Такий підхід дозволяє вирішувати задачі оптимального синтезу з використанням метамоделей ВСП, що застосовуються при формулюванні функції цілі.

**Мета роботи:** побудова MLP-метамоделі ВСП, яку можна використовувати для розрахунку щільності вихрових струмів в точках, розташованих на поверхні об'єкту в зоні контролю, у процесі оптимального синтезу.

При вирішенні поставленої задачі використовується евристичний спосіб побудови метамоделі на базі нейронних мереж. В якості апроксиматора в даному дослідженні використовується нейронна MLP-мережа на багатоплановому перцептроні [1].

Побудова метамоделі передбачає вирішення трьох взаємопов'язаних задач: визначення плану обчислювального експерименту, побудови апроксимаційної моделі і перевірки адекватності та інформативності отриманої метамоделі.

В роботі розглянуто рішення кожної із цих окремих задач для задачі побудови метамоделі ВСП, що розташований над об'єктом контролю (рис.1 а). В якості котушки збудження ВСП використовувався виток із змінним струмом  $I$  частотою  $\omega$ , що розташований на висоті  $z_0$  над об'єктом контролю товщиною  $d$  з постійною питомою електричною провідністю  $\sigma$  та магнітною проникливістю  $\mu_r$  (рис.1 а). Середовище вважалося лінійним, ізотропним. Взаємодія перетворювача із об'єктом контролю визначається

співвідношеннями, що отримано із рівнянь Максвела. Складові щільності струму по координатам  $x, y$  відповідно визначаються за формулами [2-4]. Отримані значення щільності вихрових струмів в точках плану використано, як вихідні дані для виконання другого етапу – побудови метамоделі.

При виборі плану експерименту серед можливого розмаїття варіантів перевагу слід віддати генераторам точок, що заповнюють простір пошуку та в процесі реалізації яких використовуються ЛПТ-послідовності Соболя [5, 6]. Для отримання точок плану експерименту використано ЛПТ-послідовності  $(\zeta_1, \zeta_2)$  для  $N=255$  точок. В отриманих координатах зондувальних точок (рис.1 б) розраховувалися значення цільової функції.

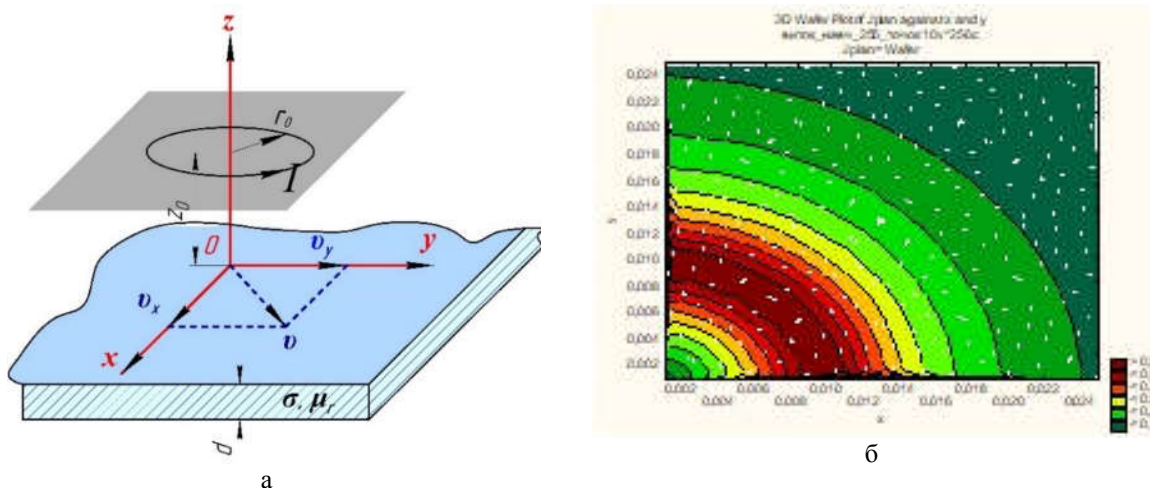


Рис.1 – Вихрострумний перетворювач, що складається із рухомого витка: а) геометрична модель; б) план експерименту  $N=255$ , нанесений на лінії рівня цільової функції

Для побудови MLP – метамоделей використано автоматичну та задану користувачем стратегії побудови з випадковим поділом вибірки у наступному співвідношенні: 70 % - навчальна, 15 % - контрольна, 15 % - тестова. Створено майже 60 MLP нейронних мереж для плану  $N=255$  з кількістю прихованих нейронів від 50 до 70.

Наступним етапом побудови метамоделі є перевірка її адекватності. Адекватність зазвичай встановлюється перевіркою F-критерію гіпотези про статистичну незначну відмінність дисперсії адекватності та дисперсії відтворюваності результатів експериментів, за якими були отримані коефіцієнти математичної моделі [6]. Перевірка моделі на інформативність виконувалася шляхом розрахунку множинного коефіцієнту кореляції  $R$  та перевірки його статистичної значущості.

На рис.2, наведено результат відновлення поверхні відгуку, отриманої за допомогою метамоделі MLP-2-70-1(28), що виконано у всьому діапазоні варіювання змінних  $x \in [0; 25]$ ,  $y \in [0; 25]$  з кроком 0,04, тобто на 625 точках.

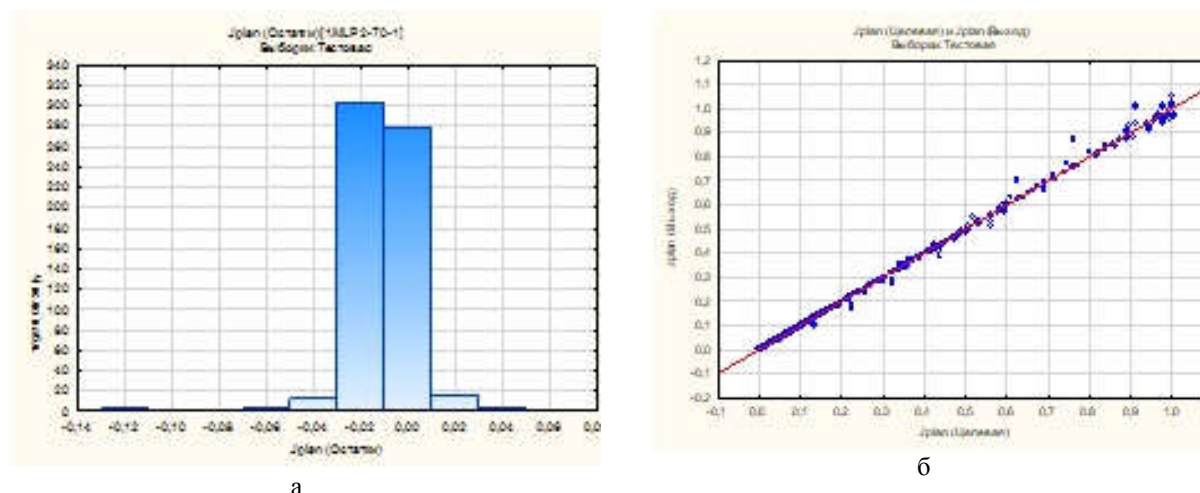
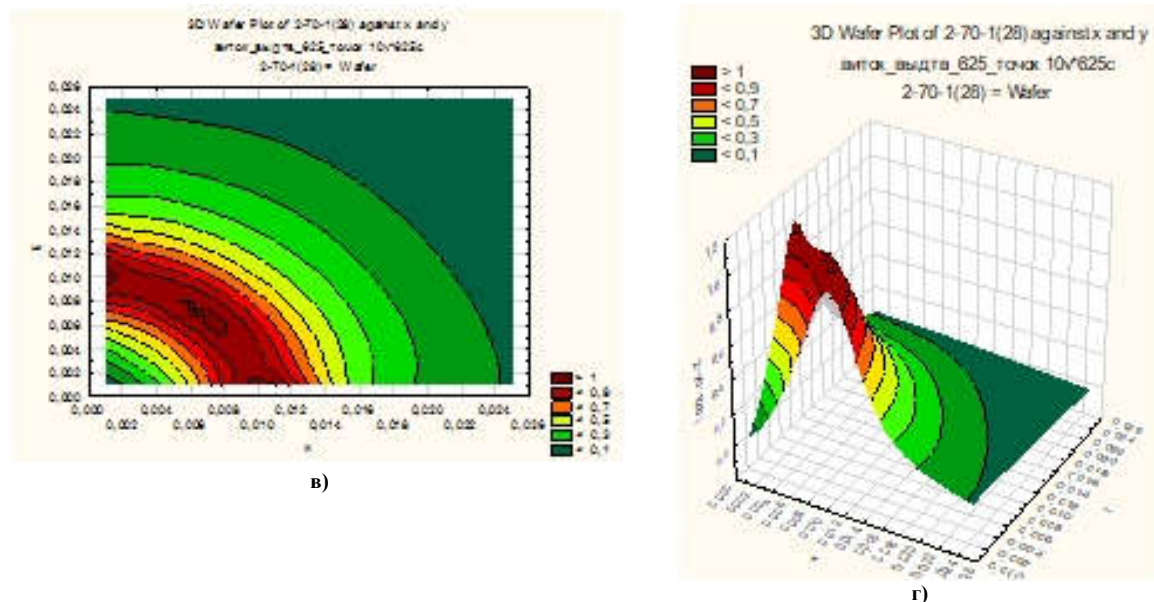


Рис.2 - Відтворення поверхні відгуку за допомогою метамоделі MLP-2-70-1(28): а) гістограма залишків; б) діаграма розсіювання значень цільової та відновленої функції



Продовження рис.2 – в) лінії рівня відновленої функції; г) 3D - графік відновленої поверхні відгуку

Таким чином, результати чисельних експериментів свідчать про можливість використання запропонованої обчислювальної технології побудови MLP-метамоделей для апроксимації функцій цілі в задачі синтезу ВСП.

### Література

1. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд.: Пер. с англ. – Москва: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
2. Itaya T. Visualization of Eddy Current Distributions for Arbitrarily Shaped Coils Parallel to a Moving Conductor Slab / T. Itaya, K. Ishida, Y. Kubota, A. Tanaka, and N. Takehira // Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 47, pp. 1-12, 2016. doi:10.2528/PIERM16011204
3. Itaya T. Eddy current distribution for a rectangular coil arranged parallel to a moving conductor slab / T. Itaya, K. Ishida, A. Tanaka, N. Takehira, and T. Miki // IET Science, Measurement & Technology, Vol. 6, Iss. 2, pp. 43-51, 2012. doi:10.1049/iet-smt.2011.0015
4. Itaya T. Analysis of a fork-shaped rectangular coil facing moving sheet conductors / T. Itaya, K. Ishida, A. Tanaka and N. Takehira // IET science, measurement & technology, Vol. 3, Iss. 4, pp. 279-285, 2009. doi 10.1049/iet-smt.2008.0087
5. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / Соболев И.М., Статников Р.Б. [2-е изд., перераб. и доп.]. - Москва: Дрофа, 2006. - 175 с.
6. Радченко С.Г. Методология регрессионного анализа: монография / Радченко С.Г. – Київ: «Корнійчук», 2011. – 376 с.

### References

1. Hajkin Sajmon. Nejrnonnuje seti: polnuj kyrs, 2-je izd.: per. s angl. – Moskva: Izdatelsky dom «Viljams», 2006. – 1104 s.
2. Itaya T. Visualization of Eddy Current Distributions for Arbitrarily Shaped Coils Parallel to a Moving Conductor Slab / T. Itaya, K. Ishida, Y. Kubota, A. Tanaka, and N. Takehira // Progress In Electromagnetics Research M, Vol. 47, pp. 1-12, 2016. doi:10.2528/PIERM16011204
3. Itaya T. Eddy current distribution for a rectangular coil arranged parallel to a moving conductor slab / T. Itaya, K. Ishida, A. Tanaka, N. Takehira, and T. Miki // IET Science, Measurement & Technology, Vol. 6, Iss. 2, pp. 43-51, 2012. doi:10.1049/iet-smt.2011.0015
4. Itaya T. Analysis of a fork-shaped rectangular coil facing moving sheet conductors / T. Itaya, K. Ishida, A. Tanaka and N. Takehira // IET science, measurement & technology, Vol. 3, Iss. 4, pp. 279-285, 2009. doi 10.1049/iet-smt.2008.0087
5. doi 10.1049/iet-smt.2008.0087
6. Sobol I.M. Vubor optimalnux parametrov v zadachax so mnogimi kriterijami / Sobol I.M., Statnikov R.B. [2-je izd., perepab. i dop.]. - Moskva: Drofa, 2006. - 175 s.
7. Radchenko S.G. Metodologija regressionnogo analiza: monografija / Radchrnko S.G – Kujiv: «Kornijchuk», 2011. – 376 s.

## ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ШУМОВ С НОРМАЛЬНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ

*Аннотация.* Разработана методика фильтрации с использованием фильтра Калмана для отличного от гауссовского распределения шумов. Была проверена его работоспособность разработанной модели программной фильтрации путем обработки нормального закона распределения шумов. Полученный результат подтверждает эффективность разработанной методики в области применения обработки негауссовских сигналов. Представлена программная реализация фильтра Калмана для подавления шумов с нормальным распределением при обработке сигналов вибрационных датчиков. В качестве массива данных использовали экспериментальные данные полученные с использованием вибродатчика с механическим резонатором.

*Ключевые слова:* фильтра Калмана, Python, вибрационный датчик, негауссовский шум, нормальный закон распределения

O. OLIYNYK, YU. TARANENKO  
 Ukrainian State University of Chemical Technology  
 oleinik\_o@ukr.net

## PROGRAM IMPLEMENTATION OF THE KALMAN FILTER FOR NOISE REDUCTION OF NOISE DISTRIBUTION

*Annotation.* The software implementation of the Kalman filter for noise suppression with a normal distribution in the processing of vibration sensor signals is presented. The Kalman filter is a sequential recursive algorithm that uses the adopted model of the dynamic system to obtain an estimate.

Today, the Kalman filter is widely applicable in the field of engineering, where a Gaussian noise distribution is common. This fact significantly reduces the applicability of the filter and the Kalman filter can not claim universality. In this case, statistical models and methods based on Gaussianity (in particular, estimates of confidence intervals for the sample mean) are often applied without an elementary check, by default. The development of filtration techniques using the Kalman filter in the field of non-Gaussian noise will significantly expand its scope and make it a universal filtering tool.

A filtration technique using the Kalman filter for a different from the Gaussian noise distribution was developed. Its functionality was tested for the developed model of software filtering by processing the normal noise distribution law. The obtained result confirms the effectiveness of the developed technique in the field of application of processing of non-Gaussian signals.

*As an array of data, experimental data obtained using a vibration sensor with a mechanical resonator were used.*  
*Keywords:* Kalman filter, Python, vibration sensor, the non-Gaussian noise, the normal distribution law.

Одной из приоритетных задач разработчиков измерительной техники является повышение точности измерительной схемы. Среди существующих подходов к решению данной задачи особое внимание привлекают адаптивные методы повышения точности динамических измерений с использованием цифровых фильтров с программной реализацией [1]. Фильтра Калмана отличается существенным преимуществом - возможностью задать априорную информацию о характере системы, связи переменных и на основании этого строить более точную оценку, но даже в простейшем случае (без ввода априорной информации) он дает отличные результаты [2]. Целью работы была разработка программной реализации фильтра Калмана для подавления шумов с нормальным распределением при обработке сигналов вибрационных датчиков.

В качестве среды программной реализации фильтра был выбран Python 3.4. Листинг разработанной программной реализации фильтра Калмана с оценкой эффективности выполненной фильтрации приведен ниже:

```
from numpy import *
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.stats import norm
n_iter = 50 # Число итераций .
sz = (n_iter,) # Размер массива
x = 2 # Истинное значение измеряемой величины (фильтру неизвестно)
R1 = 0.1 # Ср. кв. ошибка измерения .
R = R1 * R1 # Дисперсия
nr = "нормальным распределением"
y = norm.rvs( x, R1, size=sz)
Q = 1e-5 # Дисперсия случайной величины в модели системы
# Выделение памяти под массивы:
xest1 = zeros(sz) # Априорная оценка состояния
```

```

xest2 = zeros(sz) # Апостериорная оценка состояния
P1 = zeros(sz) # Априорная оценка ошибки
P2 = zeros(sz) # Апостериорная оценка ошибки
G = zeros(sz) # Коэффициент усиления фильтра
xest2[0] = 0.0
P2[0] = 1.0
for k in arange(1, n_iter, 1): # Циклоотсчёт времени.
xest1[k] = xest2[k-1] # Априорная оценка состояния.
P1[k] = P2[k-1] + Q # Априорная оценка ошибки.
# После получения нового значения измерения вычисляем апостериорные оценки :
G[k] = P1[k] / ( P1[k] + R )
xest2[k] = xest1[k] + G[k] * ( y[k] - xest1[k] )
P2[k] = ( 1 - G[k] ) * P1[k]
plt.figure()
plt.title('Подавление шумов с %s%%nr, size=12)
plt.plot(y, 'k+', label='Зашумлённые измерения')
plt.plot(xest2, 'b-', label='Апостериорная оценка')
plt.axhline(x, color='g', label='Истинное значение')
plt.legend()
plt.xlabel('Номер итерации')
plt.ylabel('Измеряемая величина')
plt.figure()
plt.title('Ошибки при подавлении шумов с
%s%%nr, size=12)
valid_iter = arange(1, n_iter, 1) # P1 на 0 м
шаге не определено
plt.plot(valid_iter, P1[valid_iter])
plt.xlabel('Номер итерации')
plt.ylabel('Априорная оценка ошибки')
plt.setp(plt.gca(), 'ylim', [0, .01] )
plt.show()

```

На рис. 1. представлена графическая часть результата работы модели, показывает, что апостериорная оценка сигнала приближается к истинному значению, что дает возможность применения данной модели при обработке сильнозашумленных сигналов вибрационных датчиков.

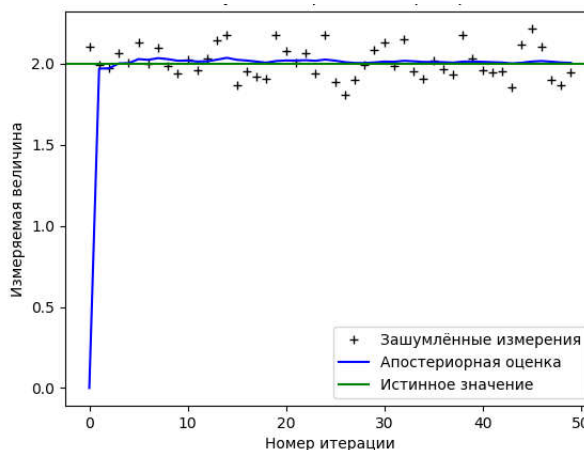


Рис. 1. Графическая часть результата работы модели фильтра Калмана

## Литература

- Oliynyk O. Development of auto-oscillating system of vibration frequency sensors with mechanical resonator [Text] / O. Oliynyk, Yu. Taranenko, A. Shvachka, O. Chorna// Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2017. – Vol.85. – P. 56-60.
- Тараненко Ю.К. Модель адаптивного фильтра Калмана [Текст] / Ю.К. Тараненко, О.Ю. Олейник // Технология приборостроения. – 2017. – Т.№1. – С.9-11.

## References

- Oliynyk O. Development of auto-oscillating system of vibration frequency sensors with mechanical resonator / O. Oliynyk, Yu. Taranenko, A. Shvachka, O. Chorna// Eastern-European journal of enterprise technologies, 2017. – Vol.85. – P. 56-60.
- Taranenko Yu.K. Model' adaptivnogo fil'tra Kalmana / Yu.K. Taranenko, O.Yu. Oleynik. Tekhnologiya priborostroyeniya. – 2017. – Т.№1. – С.9-11.

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ УСТАНОВКИ

**Аннотация** – Рассмотрена задача автоматизации ионно-плазменной установки с целью повышения качественных показателей металлорежущего инструмента. Показано, что задача декомпозируется на три составляющих: синтез систем автоматического управления, разработку технического и программного обеспечения. Описаны параметры системы автоматического управления, которые необходимо поддерживать на каждом этапе работы технологической установки.

**Ключевые слова:** ионно-плазменная, установка, система управления, автоматизация.

K. KYRKOPULO

Odessa National Polytechnic University  
k.g.kir2018@gmail.com

## DEVELOPMENT OF AUTOMATION SYSTEM OF ION-PLASMA INSTALLATION

**Annotation** – A problem of automation of ion-plasma installation for metal cutting tools coating is investigated. The investigation aim is to improve the quality of coated tools. This can be achieved by providing more accurate technological parameters of the installation. The problem of automation of installation can be divided on three subproblems: control system design, technical implementation, software implementation. The high quality control system design subproblem can be solved utilizing precocious dynamics models in the simulation and controller design. It's need to design a control system for each installation technological process stage, namely, ionic clearing, coating of the tools, cooling. At the stage of ionic clearing it's needed to provide linear temperature rise inside the tools using relay controller. At the stage of the tools coating it's needed to precisely stabilize temperature and vacuum pressure in the installation chamber by changing voltage of substrate and flow rate of gas respectively. At the stage of cooling the temperature it's needed to control by changing gas flow rate in chamber. The subproblem of technical implementation can be solved with the usage of modern sensors. The main problem is the estimation of the tool temperature. The temperature of a tool bottom can be measured by precocious thermocouple, but more representative is temperature of a tool top that can be only estimated. The estimation equation can give good results only if it takes into account the dynamics of the tool material. The subproblem of software implementation is hard in the case of reconfiguration needs. The implemented software should calculate optimal controller settings and operation mode parameters on the base of the tool properties and quality requirements. The main requirement for the tools is resistance, good results for which can be achieved only by solving three these problems.

**Keywords:** ion-plasma, installation, cathode arc deposition, control system, automation.

### Вступление.

Задача создания систем автоматизации установок обработки металлорежущего оборудования является актуальной, поскольку требования к качеству обрабатываемых деталей растут и требуемое качество невозможно обеспечить при ручном управлении установкой.

Распространённым типом установок для повышения качественных характеристик инструмента являются установки, работающие по методу КИБ (ионная бомбардировка происходит при смене фазового состояния на плазменное в вакууме). В работе [1] разработчиком метода дан подробный обзор технологии КИБ и истории ее развития.

Классической установкой, работающей по методу КИБ, является установка «Булат-3». Основные модификации этой установки перечислены в работе [2].

Метод КИБ включает три основных этапа обработки инструмента:

1. формирование потока ионов металла в плазменной фазе с использованием вакуумной дуги, ускорение потока с помощью приложения к инструменту отрицательного потенциала, очистка поверхности инструмента интенсивной бомбардировкой поверхности, программный нагрев инструмента;

2. конденсация ионов металла на инструменте, осуществление реакции поверхности инструмента с реактивным газом

3. программное охлаждение инструмента.

Задача автоматизации может быть разделена на три составляющие: синтез системы автоматического управления, техническая реализация и разработка программного обеспечения.

**1. Синтез системы автоматического управления.** Схематически технологический процесс с указанием соответствующих необходимых регуляторов показан на рис. 1.

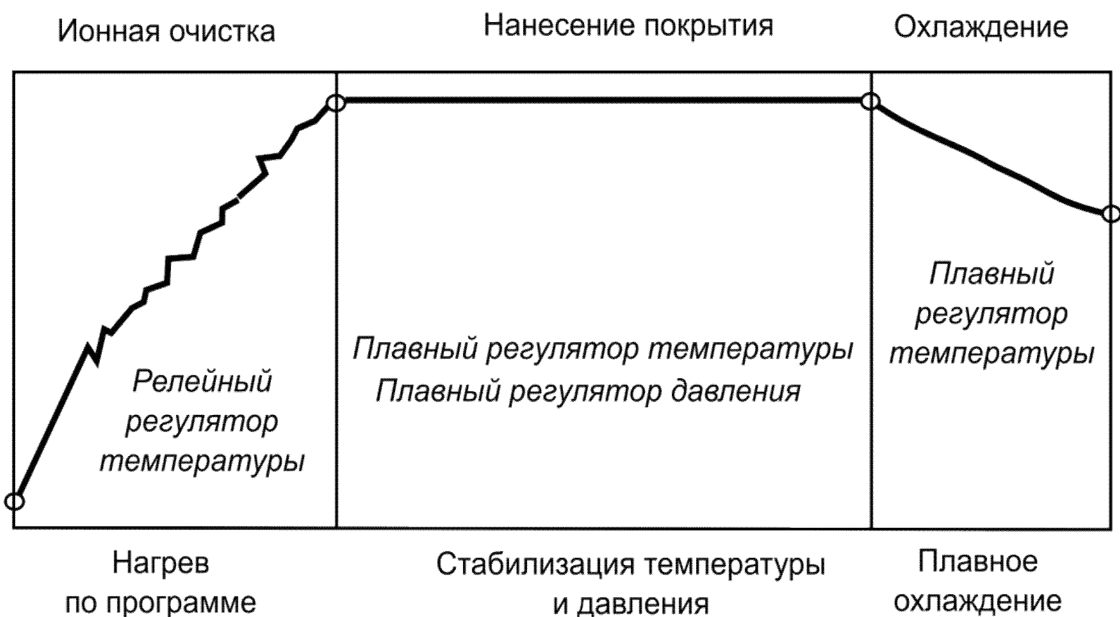


Рис. 1. Схематическое представление технологического процесса работы ионно-плазменной установки

Синтез систем управления целесообразно проводить с использованием специальных математических пакетов, которые позволяют промоделировать динамику технологического процесса. Динамика процессов установки имеет значительно нелинейный характер, поэтому получить оптимальные настройки регуляторов без вычислительно затратных процедур практически невозможно.

Опишем системы управления процессом более подробно.

**1.1 Система управления ионной очисткой металлорежущего инструмента.** Целью системы является обеспечение стабильности процесса ионной бомбардировки без перегрева инструмента, который приводит к браку. Очистка обеспечивается выгоранием примесей при равномерном повышении температуры по близкой к линейной программе за время, зависящее от типа металла инструмента.

Управляющим воздействием является напряжение электродугового испарителя, управляемой переменной – температура поверхности инструмента. Из-за особенности работы электродугового испарителя допустимо в системе управление только релейное регулирование: включение и отключением дуги.

**1.2 Система управления нанесением ионно-плазменного покрытия на инструмент.** Целью работы системы является обеспечение стабильного и равномерного покрытия.

Для этого необходимо выполнить две задачи: стабилизировать температуру инструмента и давление в вакуумной камере.

Стабилизация температуры инструмента необходима для компенсации основного возмущения – изменение теплового потока инструмента на закреплённой кассете инструмента. Управляющим воздействием для системы стабилизации температуры является напряжение на подложке.

Стабилизация давления азота в вакуумной камере необходима для компенсации остальных возмущений. Управляющим воздействием для системы стабилизации давления является расход азота.

**1.3 Система управления охлаждением инструмента.** После покрытия необходимо охладить инструмент с помощью теплопередачи в опорную кассету и подачи азота. Охлаждение необходимо проводить плавно с помощью регулятора с обратной связью. После охлаждения камера разгерметизируется и начинается выгрузка инструмента.

**2. Техническая реализация.** Основной проблемой технической реализации системы автоматизации установки является задача измерения температуры. Возможно измерение только нижнего основания, однако более ценной является значение температуры той части инструмента, которое недоступно измерению, но может быть оценено. Данная задача может быть решена с помощью прецизионной термопары, значение которой корректируется с помощью специального аналитического уравнения, учитывающего динамику теплообменных процессов конкретного инструмента [3]. Для измерения давления возможно использовать стандартные термопарные и ионизационные датчики измерения давления. В качестве управляющего устройства может использоваться как программируемый логический контроллер, так и микроконтроллер или

---

обычный компьютер. Алгоритмы системы управления возможно реализовать практически на любом управляющем устройстве.

### **3. Программное обеспечение.**

В случае необходимости получения на установке деталей разного типа или качества необходимо разрабатывать специальное достаточно сложное программное обеспечение. Задачей такого программного обеспечения должно являться расчет оптимальных настроек регуляторов и режима работы произвольно заданного инструмента с учетом требований к его качеству. Ключевым критерием качества металлорежущего инструмента является его стойкость. Более подробно критерии и методы их расчета описаны в работе [4].

### **Литература**

1. Аксёнов И. И., Белоус В. А., Стрельницкий В. Е, Аксёнов Д. С. Вакуумно-дуговое оборудование и технологии покрытий в ХФТИ // ВАНТ.2016. №4(104).С. 58–71.
2. Барвинюк В.А, Шитарев И.Л., Богданович И.А. Срабатываемые, износостойкие и теплозащитные покрытия для деталей газового тракта турбины компрессора и камеры сгорания ГТД // Авиационная и ракетно-космическая техника. 2009. №3(19). С. 11–28.
3. Колпаков В.А., Новомейский Д.Н., Новоженин М.Р. Определение температуры поверхности образца в области ее взаимодействия с потоком внеэлектродной плазмы с помощью преобразования Кирхгофа квадратичной функции // Журнал технической физики. 2013. №11(83). С. 6–9.
4. Тонконогий В.М., Оборский Г.А. Работоспособность и надежность инструментов с износостойкими покрытиями // Труды Одесского политехнического университета. 1997. Вып 1(7). С. 130–133.

### **References**

1. AksYonov I. I., Belous V. A., Strelnitskiy V. E, AksYonov D. S. Vakuumno-dugovoe oborudovanie i tehnologii pokrytity v HFTI // VANT. 2016. #4(104). S. 58–71.
2. Barvinyuk V.A, Shitarev I.L., Bogdanovich I.A. Sbratyivaemyie, iznosostoykie i teplozaschitnyie pokryitiya dlya detaley gazovogo trakta turbinyi kompressora i kameryi sgoraniya GTD // Aviatsionnaya i raketno-kosmicheskaya tehnika. 2009. #3(19). S. 11–28.
3. KolpakovV.A., NovomeyskiyD.N., NovozheninM.R. Opredelenie temperatury poverhnosti obraztsa v oblasti ee vzaimodeystviya s potokom vneeletroodnoy plazmy ispomoschyu preobrazovaniya Kirhgofa kvadratichnoy funktsii // Zhurnal tehnikeskoj fiziki. 2013. #11(83). S. 6–9.
4. Tonkonogiy V.M., Oborskiy G.A. Rabotosposobnost i nadezhnost instrumentov s iznosostoykimi pokryitiyami // Trudy Odesskogo politehnicheskogo universiteta. 1997. Vyip 1(7). S. 130–133



## ПОБУДОВА ПРОСТОРУ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ВПЛИВУ НА ЯКІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ У ВНЗ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

**Анотація** – У роботі представлений метод визначення інформативних ознак, що найбільшою мірою впливають на якість впровадження дистанційної складової у навчальний процес вищого навчального закладу. Процес оцінки інформативності ознак проводився за допомогою нейронної мережі. Перед проведенням дослідження були сформовані навчальна вибірка та цільовий вектор. Навчальна вибірка представляє собою зведену таблицю зв'язків показників студентів дистанційних курсів та їх безпосередньою активністю у системі дистанційного навчання. Цільовий вектор у даному випадку – це підсумковий бал студента, отриманий після навчання на курсі. Обраний алгоритм навчання нейронної мережі з учителем дає змогу зрівнювати досліджувані дані (навчальну вибірку) з даними вчителя (цільовим вектором) і формувати матрицю ваг ознак. Таким чином, у ході проведення дослідження була розв'язана задача формування матриці ваг ознак. Завдяки отриманій матриці ваг були визначені найбільш інформативні ознаки впливу на якість впровадження дистанційного навчання у вищому навчальному закладі. При проведенні дослідження були використані реальні дані системи дистанційного навчання Moodle, яку використовують як інструмент ведення навчального процесу в Одеському національному політехнічному університеті. Дослідження визначення інформативності ознак за допомогою нейронної мережі проводилось двічі. Перший етап дослідження проводився на двошаровій нейронній мережі з 20 нейронами у шарі, що дозволило серед усього набору ознак обрати ті, числове значення ваги яких прямує до максимального, тим самим усунувши проблему обробки великого набору даних. Другий етап дослідження проводився з метою отримання більш точних результатів щодо інформативності відібраних ознак з використанням одношарової мережі на 10 нейронах. Таким чином було визначено найбільш інформативні ознаки, що впливають на якість впровадження дистанційного навчання у вищому навчальному закладі. Також було обґрунтовано припущення про те, що значення ваг ознак характеризують рівень інформативності кожної досліджуваної ознаки.

**Ключові слова:** інформативність ознак, дистанційне навчання, LMS Moodle, нейронні мережі.

К.М. FILONENKO, O.O. Fomin  
Odessa National Polytechnic University  
katharina.fil@gmail.com aleksandr.fomin@gmail.com

## INFORMATIONAL FEATURES SPACE CONSTRUCTION OF QUALITY INFLUENCE OF DISTANCE LEARNING IN HIGHER EDUCATION BY NEURAL NETWORKS

**Annotation** - In the present paper the method of determining the informative features, which most influence on the quality of implementation of the distance component in the educational process in higher education, was used. The process of assessing the informativity of the features was carried out using a neural network. Before the study, a training sample and a target vector were formed. The training sample is a summary table of student distance learning indicators and their direct activity in the learning management system. The target vector in this case is the final student's score obtained after studying on the distance course. The chosen algorithm for teaching the neural network with the teacher allows you to compare the data (training sample) with the data of the teacher (the target vector) and to form the matrix of the weight of the signs. Thus, in the course of the research, the problem of the formation of the matrix of weights of signs was solved. Due to the received matrix of weights, the most informative signs of influence on the quality of introduction of distance learning in higher educational institutions were determined. The real data of the learning management system Moodle, used as a learning process tool at the Odessa National Polytechnic University, was used during the study. The study of determining the informativity of the features through the neural network was conducted twice. The first phase of the study was conducted on a two-layer neural network with 20 neurons in the layer, which allowed among the whole set of features to select those whose numerical weight of weight goes to the maximum, thus eliminating the problem of processing a large set of data. The second stage of the study was conducted with the aim of obtaining more accurate results on the informativity of the selected features using a single-layer network of 10 neurons. Thus, the most informative features that influence the quality of the implementation of distance learning at a higher educational institution were determined. It was also grounded the assumption that the weight of the signs characterizes the level of informativeness of each of the studied trait.

**Key words:** informativeness, features space, distance education, LMS Moodle, neural networks.

**Вступ.** Інформатизація сучасної освіти створює необхідність впровадження інформаційних і телекомунікаційних технологій в освітній процес навчального закладу. Проте, незважаючи на активне застосування новітніх технологій, все ще існує потреба в корегуванні методів їх використання. Досягнути ефективних результатів впровадження сучасних інформаційних методів в освітню діяльність можливо лише після виявлення шляхів його покращення.

Метою представленої роботи є підвищення якості дистанційного навчання за допомогою пошуку ознак, що найбільшою мірою впливають на якість впровадження дистанційної складової у навчальний процес ВНЗ. Завданням роботи є розробка методу оцінки інформативності ознак за допомогою нейронної мережі.

**Огляд літератури.** Методи оцінки якості дистанційного навчання (ДН) поділяються на статичні і внутрішні. Істотні недоліки використання цих методів (зниження швидкості обробки даних та підвищення похибки під час аналізу даних) дали привід віддати перевагу повсюдному використанню внутрішніх методів оцінки якості. Внутрішні методи використовують ідею аналізу одержуваних цифрових даних, використовуючи вбудовані інструменти інформаційної системи. Наприклад, система дистанційного навчання (СДН) Moodle, яка є найбільш поширеною СДН у світі, має вбудовані інструменти аналізу результатів тестування учасників дистанційних курсів [1]. Перевагами використання внутрішніх методів є висока швидкість обробки одержуваних даних, можливість аналізу результатів, у тому числі й за допомогою інструментів візуалізації даних.

У представлений роботі запропоновано метод оцінки інформативності ознак, що характеризують рівень якості впровадження ДН у навчальний процес, за допомогою нейронних мереж (НМ).

**Основна частина роботи.** Змістовна постановка задачі оцінки інформативності ознак полягає в необхідності виділення вимірюваних ознак з найбільшою вагою, що характеризує рівень впливу на якість освіти засобами ДН. Запропонована технологія оцінки інформативності ознак в задачах аналізу якості дистанційного навчання апробована на даних діючої СДН. У якості джерела ознак використана база даних СДН Moodle Одеського національного політехнічного університету (URL: <http://dl.it-school.com.ua>).

Набір ознак, що використовуються в дослідженні, розділений на три категорії:

1. кількісні ознаки: кількість тестів, кількість оцінюваних завдань тощо;
2. оцінювані ознаки: оцінка студента за тест, за окрему спробу тесту, тощо;
3. часові ознаки: час початку тестування кожного студента і т.д.

Перед проведенням дослідження необхідно підготувати дані. Етап підготовки даних включає такі обов'язкові дії як збір даних, нормування даних і формування навчальної та екзаменаційної вибірок [2, 3]. Навчальну вибірку формують дані активності студентів дистанційного курсу, що знаходяться у базі даних СДН. Усього досліджувалось 37 ознак. Разом з навчальною вибіркою був сформований цільовий вектор вихідних значень (показання вчителя). Цільовий вектор являє собою сумарне значення всіх оцінок студента, що характеризує успішність студента на курсі. Вибір НМ є важливою складовою перед початком дослідження. Від того, який тип НМ буде обраний, в першу чергу буде залежати, наскільки отримані результати будуть наближені до реальності. В результаті експериментів для проведення дослідження була обрана двошарова нейронна мережа на 20 нейронах.

У даній роботі був використаний алгоритм навчання НМ з учителем, так як саме цей алгоритм дає можливість формувати цільовий вектор, з яким порівнюється робота нейронів НМ. Навчання НМ проходить наступним чином: кожен зразок цільового вектора подається на входи НМ, потім проходить обробку всередині структури НМ, обчислюється вихідний сигнал мережі, який порівнюється з відповідним значенням цільового вектора. Навчившись, НМ проходить процедуру іспиту для визначення рівня точності виконуваних обчислень і формування матриці ваги кожної ознаки, тобто, визначення її інформативності.

В результаті навчання НМ формується матриця ваг  $\mathbf{W}$ . Інформативність кожної ознаки визначається на основі матриці  $\mathbf{W}$  за виразом:

$$P_i = \frac{1}{w} \sum_{k=1}^n (w(k, i))^2,$$

де  $w$  – сформована матриця ваг безлічі ознак НМ,  $i$  – порядковий номер ознаки,  $n$  – кількість нейронів в першому шарі НМ.

Робота з великим об'ємом даних приводить до проблематичному аналізу, тому рекомендується після навчання НМ запустити процес навчання повторно, використовуючи при цьому нову вибірку з отриманих ознак, вага яких прагне до максимуму. Тому було обрано 10 найбільш інформативних ознак, вага яких прямує до максимуму, що дозволило сформувати нову навчальну вибірку.

Дослідження проводилось із використанням двох НМ: двошарової на 20 нейронів та одношарової на 10 нейронів, що дозволило досягнути більшої точності при визначенні інформативності ознак. Результат навчання мережі та виявлення найбільш інформативних ознак серед досліджуваних представлений на рис.1

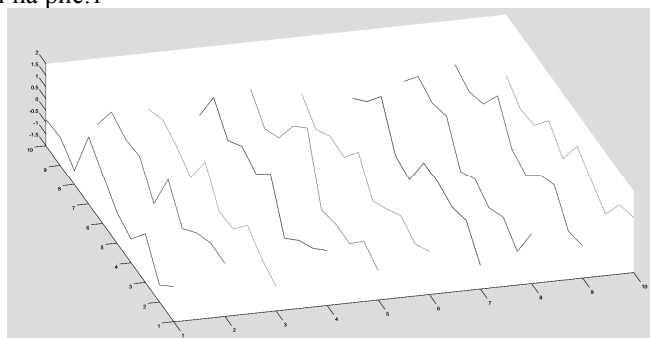


Рис.1. Візуалізація зв'язків нейронів мережі з інформативними ознаками

Повторне навчання НМ дало змогу отримати результати щодо інформативності ознак, які можна прослідкувати у табл.1.

Таблиця 1  
Результат визначення найбільш інформативних ознак

№	ОЗНАКА	ВАГА
1	Кількість завдань для лабораторних робіт	0,456937
2	Кількість теоретичних матеріалів	0,441847
3	Оцінка за контрольний тест 1-го тижня	0,253303
4	Оцінка за контрольний тест 2-го тижня	0,433377
5	Оцінка за контрольний тест 4-го тижня	0,694704
6	Оцінка за практичну частину першого модулю	0,34185
7	Час завершення спроби тестування 9-го тижня	0,457173
8	Оцінка за контрольний тест 10-го тижня	0,414055
9	Оцінка за контрольний тест 11-го тижня	0,291418
10	Оцінка за другий модульний тест	0,535258

**Висновки.** Після проведення дослідження були знайдені найбільш інформативні ознаки, що впливають на якість впровадження дистанційного навчання у ВНЗ. Отже, найбільший вплив на використання технологій дистанційного навчання мають результати оцінювання студентів безпосередньо перед проведенням першого модульного контролю та результати оцінювання студентів після проведення другого модульного контролю. В свою чергу, найменш інформативною ознакою є тестування студентів на 1-му тижні курсу. Це обумовлено тим, що студенти, щойно познайомившись із технологією проведення курсу, ще не мають достатнього досвіду для вирішення завдань самостійно, тому на першому тижні впоратися з завданням допомагає ментор курсу (викладач чи консультант).

#### Література

1. Moodle DOCS – Mode of access: [https://docs.moodle.org/34/en/Main\\_page](https://docs.moodle.org/34/en/Main_page)
2. Філоненко К.М., Фомін О.О., Рубан О.Д. Використання згортальних нейронних мереж для виділення інформативних ознак, що впливають на якість дистанційного навчання – Сучасні проблеми математичного моделювання, прогнозування та оптимізації : тези доповідей 18-ї Міжнародної наукової конференції – Кам'янець-Подільський : Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка, 2018 – С.46-47
3. Дубровин В.И., Субботин С.А. Алгоритм классификации с оценкой значимости признаков // Радиоэлектроника, информатика, управління. 2001. №2 (6) – С.145-150

#### References

1. Moodle DOCS – Mode of access: [https://docs.moodle.org/34/en/Main\\_page](https://docs.moodle.org/34/en/Main_page)
2. Filonenko K.M., Fomin O.O., Ruban O.D. Vykorystannia zghortalnykh neironynykh merezh dlia vydilennia informatyvnykh oznak, sheho vplyvaiut na yakist dystantsiinoho navchannia – Suchasni problemy matematychnoho modeliuвання, prohnozuvannia ta optymizatsii : tezy dopovidei 18-yi Mizhnarodnoi naukovoi konferentsii – Kamianets-Podilskyi : Kamianets-Podilskyi natsionalnyi universytet imeni Ivana Ohiiienka, 2018 – S.46-47
3. Dubrovyn V.Y., Subbotyn S.A. Alhorytm klasyfykatsyy s otsenkoi znachymosty pryznakov // Radioelektronika, informatyka, upravlinnia. 2001. №2 (6) – S.145-150

УДК 616-056.2

SERGIY PAVLOV<sup>1</sup>, SERGIY ZLEPKO<sup>1</sup>, W WÓJCIK ALDEMAR<sup>2</sup>, ANATOLII KOROBOV<sup>3</sup>, OLEG AVRUNIN<sup>4</sup>, OLEG VLASENKO<sup>5</sup>

Vinnitsia National Technical University (VNTU), Ukraine Politechnika Lubelska, Poland  
V. N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine, Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine  
National Pirogov Memorial Medical University, Ukraine

## DEVELOPMENT OF THE INTERNATIONAL MEDICAL RESEARCH CENTER ON THE ESTIMATION OF THE STATE OF HUMAN HEALTH AND ITS REJUVENATION

*The level of development of medical industry determines, in particular, the level of social development of the country. In addition, medical engineering and medical products are among the most knowledge-intensive industries. The level of technology used in the medical industry is comparable to that of military technology and is often the result of their conversion for civilian use. In this regard, it is impossible to overestimate the importance of the development of the medical industry for the successful realization of the scientific and innovation potential of China and Ukraine. Increasing the duration and quality of life of the citizens of China and European states is a state priority. The decision of these tasks contributes to the growth of the economy, as well as the reduction of treatment costs and social payments. However, this requires the availability of modern high-quality medical equipment and medical products. At present, in connection with the catastrophic increase in the number of antibiotic-resistant strains of pathogenic bacteria, the growing allergization of the population, it is relevant to search for alternative non-medicament methods for the prevention and treatment of the most common human diseases, as well as medical rehabilitation after severe illnesses.*

*Keywords: photonic systems, medical engineering, biomedical devices, diagnostics.*

С. В. ПАВЛОВ<sup>1</sup>, С. М. ЗЛЕПКО<sup>1</sup>, ВАЛЬДЕМАР ВУЙЦИК<sup>2</sup>, А. М. КОРОБОВ<sup>3</sup>,  
О. Г. АВРУНІН<sup>4</sup>, О. В. ВЛАСЕНКО<sup>5</sup>

Вінницький національний технічний університет (ВНТУ), Україна  
Люблінська Політехніка, Польща? Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна  
Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна? Національний медичний університет імені Пирогова, Україна

## РОЗВИТОК МІЖНАРОДНОГО МЕДИЧНОГО ДОСЛІДНИЦЬКОГО ЦЕНТРУ ОЦІНКИ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ТА РОЗВИТКУ ЛЮДИНИ

*Анотація: Рівень розвитку медичної галузі визначає, зокрема, рівень соціального розвитку країни. Медична інженерія та лікарські препарати є одними з найбільш інформаційних галузей. Рівень техніки, що використовується в медичній промисловості, можна порівняти з військовою технікою, і це часто є результатом їх перетворення для цивільного використання. У зв'язку з цим неможливо переоцінити важливість розвитку медичної галузі для успішної реалізації науково-інноваційного потенціалу Китаю та України. Підвищення тривалості та якості життя громадян Китаю та європейських держав є пріоритетним завданням держав. Рішення цих завдань сприяє зростанню економіки, а також зменшенню вартості лікування та соціальних виплат. Однак це вимагає наявності сучасного високоякісного медичного обладнання та лікарських засобів. Наукова проблема, яка повинна бути вирішена, полягає у створенні нового класу оптоелектронних приладів, що діагностують периферичний кровотік та інтелектуальні фотонні системи, що підвищать надійність діагностики порівняно з традиційними методами діагностики (реоплетизмографічні, ультразвукові тощо), а також функціональністю біомедичних пристроїв та систем швидкої діагностики периферичного кровообігу.*

*Ключові слова: фотонні системи, медична інженерія, біомедичні пристрої, діагностика.*

### Introduction

From the point of view of ensuring a decent standard of living for the citizens of China and Ukraine, the medical industry is one of the key, creating the opportunity to provide quality medical care. The level of development of this industry determines, including, the level of social development of the country.

In addition, medical engineering and medical products are among the most knowledge-intensive industries. The level of technology used in the medical industry is comparable to that of military technology and is often the result of their conversion for civilian use. In this regard, it is impossible to overestimate the importance of the development of the medical industry for the successful realization of the scientific and innovative potential of the China and Ukraine.

Increasing the duration and quality of life of the citizens of China and European states is a priority task of the states. The decision of these tasks contributes to the growth of the economy, as well as the reduction of the cost of treatment and social payments. However, this requires the availability of modern high-quality medical equipment and medical products.

---

The production of medical equipment and medical supplies is connected with the issues of ensuring national security - the basic level of medical care and the need for medical disasters should be provided primarily through own production.

#### **Appointment of the Strategy**

- to determine the priority directions of development of the MRC and the methods of their implementation;
- lay the foundations of public-private partnership;
- give impetus to the intensive development of technological biomedical developments, production and market introduction of innovative Chinese-Ukrainian-Poland products;
- Implement a new type of training system for biomedical engineering.

#### **The main directions of the development of the Strategy:**

- Estimation of the current state and identification of the main systemic problems of the development of biomedical engineering of the Research and Development Center.
- Definition of key approaches to overcoming systemic problems, determination of tasks of strategic development of biomedical engineering.
- Determining the role of state support in solving strategic tasks of biomedical engineering development
- Identify key activities aimed at the successful implementation of the Strategy, including a set of state measures to support the development of biomedical technologies.

#### **The strategy is based on the following priorities:**

- Implementation of an innovative model for the development of biomedical engineering, which includes the creation of high-tech industries, a research base that leads to the growth of the market of medical equipment and medical devices;
- Increasing the export potential of biomedical engineering products;
- Priority of Chinese, Ukrainian and Polish medical equipment and medical products in the implementation of state programs for the modernization of health care;
- Development of partnership with the world's largest leaders in the development and production of medical equipment and medical products, involving specialized technical specialists to intensify the development of advanced technologies;
- Localization in the territory of China, Ukraine, Poland of high-technology production of equipment, components, raw materials, materials for medical equipment and medical products.

#### **Background of International Medical Research Center on the Estimation of the State of Human Health and its Rejuvenation**

At present, in connection with the catastrophic increase in the number of antibiotic-resistant strains of pathogenic bacteria, growing allergization of the population, it is relevant to search for alternative non-medicament methods for the prevention and treatment of the most common human diseases, as well as medical rehabilitation after severe illnesses.

The complex ecological situation, urbanization, frequent stresses, lack of exercise and a number of other factors that negatively affect people's health have led to the fact that today not only the adult, but also the majority of children are in the polymorbid state, i.e. have more than two pathological processes in the body. The use of intensive medication in this situation (especially antibiotic therapy) will only exacerbate the situation, finally destroying the adaptive capabilities of the body.

Today a significant number of leading companies engaged in development and production of diagnostic medical equipment. The most famous ones are: Philips, MEDIC (Medizinische Messtechnik GmbH), Nonin, Cas Medical System, Radiometer, Micromed, Criticare, UTAS (Ukraine) and others. For biomedical devices is not the most important characteristics are painless, noninvasive measurements in the diagnosis. Among the methods that can provide it, occupy a prominent place optical. Optical methods inherent advantages such as noninvasive of diagnostics, optical signal indifference to electromagnetic interference, multi potential. They can accurately determine the quantitative and qualitative indicators of biological objects.

The scientific problem to be solved is to create a new class of optoelectronic devices diagnosing peripheral blood flow and intelligent photonic systems that will increase the reliability of diagnosis compared with conventional methods of diagnosis (reoplethymographic, ultrasonic etc.) as well as the functionality of biomedical devices and systems in rapid diagnostics of peripheral circulation.

Photoplethysmography technique compared with other diagnostic methods for biological object, such as the photoacoustic method to increase the reliability of registration hemodynamic circulation, and the introduction of fiber elements technology and sources of different wavelengths of radiation allows the probe accurately solve problems photodynamic studies remote measurements of hemodynamic parameters or other biological object.

In this respect, promising work to create optoelectronic systems for diagnosis, therapy and prediction of the cardiovascular system as an effective universal means of rapid diagnosis of peripheral circulation, allowing for a long time to carry out monitoring of peripheral vascular publish current and averaged diagnosis-information on the physiological state.

---

### Detailed description

I. In the pathogenesis of the absolute majority of clinical diseases present specific first phase - a violation of blood circulation. Therefore, treatment in a disease should be based primarily on the restoration of blood circulation in the body. Therefore, finding, development and improvement of technologies normalization of blood circulation in the human body and peripheral blood evaluation methods have always been, are and will be important task for developers of new medical equipment.

Among the known factors that are used to improve blood circulation, the most effective, completely safe and natural for humans is electromagnetic radiation in the optical range of the spectrum (light) and constant magnetic field.

Study of effect of these factors on blood circulation and development of technologies and related devices, and monitoring of human health is impossible without diagnosis or evaluation of peripheral blood circulation in the body. The most advanced methods nowadays considered optoelectronic conversion methods of registration and biometric information.

By non-invasive optical methods for diagnosing peripheral circulation refers PPG method to increase the reliability of the control of blood circulation in the diagnosis of early stages of the most common human diseases.

Significant advances in the pharmacotherapy of recent decades could not solve the problem of effective treatment of certain diseases. Moreover, there was a group of diseases and pathological conditions associated with the use of modern medicines. The number of diseases resistant to treatment. In some cases, treatment is aimed at combating the effects of disease, not its cause. This path can not be considered promising.

Therefore, it remains questionable finding and developing non-drug treatment and prevention of the most common human diseases, aimed at addressing the root causes of these pathologies. As such the primary cause in most cases is a violation of blood circulation in the human body, the question of the development of technologies and methods of restoring blood circulation its assessment remain in the zone of maximum attention of scientists, doctors and engineers.

Object is a state of blood circulation of the human body, which certifies that the prerequisites of the disease or its existence, and dynamic processes of interaction and transformation of optical radiation in biological tissue that occur in the registration and diagnosis of peripheral microcirculation.

The urgency of restoring impaired blood circulation is determined that it applies to almost every person because photonic peripheral blood recovery technology and non-invasive methods of evaluation, of course, provide maximum market needs.

II. Electrotherapy is a field of physiotherapy, using for therapeutic purposes electric energy out-of-the-way through special electronic equipment. Modern forms of electrotherapy use dosing the effect on the human body of various electrical signals, but primarily electric currents, electric and magnetic fields or electromagnetic fields. The effects of individual electrotherapy methods depend on the kind of electrical stimulation applied and its parameters. Known applications for the excitation of nerves, muscles, pain reduction, mitigation of inflammation, increased tissue poisoning, intensification of metabolism or acceleration of tissue regeneration. Electrotherapy is also used in ion-phoresis. Using devices for electrotherapy, you can also carry out the diagnosis of the neuromuscular system, which allows for a quantitative assessment of the functioning of the muscles.

III. Two stages of the algorithm are presented instantaneous evaluation of tremor parameters in the retine. At the first stage, the algorithm divides tremor and accompanying arbitrary movements that based on their different distributions in the frequency region. Further, estimates of the arbitrary motion of the from the aggregate of kinematic data, for the purposes of obtaining a tremor assessment. This assessment is then to the second stage, to the weighted Fourier transform, for estimating the tremor frequency, and for the Kalman filter, which uses the frequencies obtained to estimate amplitude of tremor. As a result of the algorithm

A high accuracy of the amplitude estimation and tremor frequency. The two-stage algorithm was tested on tremograms of patients suffering from pathology-states that cause tremors during performance of clinical and functional tasks. This algorithm can be used in automatic neuropsychodiagnostic systems, as well as in microsurgical robotics for compensation tremor of the hands of the surgeon during the operations.

#### The tasks to be performed in the frame of the project:

- establish the cooperation between the research groups in China, Ukraine, Poland University to gain research potential, transfer the knowledge and initiate the development of advanced biophotonic technique;
- develop measurement protocols and preliminary hardware, perform physiological measurements to explore patterns of interaction of low-intensity non-monochromatic electromagnetic radiation in different frequency range of the optical spectrum to the blood microcirculation system in the area of exposure and in remote areas of the human body;
- develop, create and validate hardware prototype for normalizing blood flow circulation using low-field non-monochromatic radiation for healthy people and patients with the most common diseases;
- develop photoplethysmography based contact-manner measurement technique for evaluation of physiological state of the microcirculation in the area subjected to the low-intensity non-monochromatic electromagnetic radiation.
- perform physiological measurements in laboratory conditions on healthy persons involving the low-intensity non-monochromatic electromagnetic radiation interaction and photoplethysmographic technique for blood perfusion assessment;

- develop a corrective model of distribution of optical radiation in biological objects with a comprehensive view of the effects of dispersion and uniform optoelectronic safety systems designed for research and rapid diagnostics of peripheral vessels;
- develop new algorithms and methods of registration scattered optical radiation, processing and identification of key hemodynamic parameters of peripheral circulation;
- create a new class of problem-oriented intelligent photonic technologies of diagnostics, treatment and storage of information to form a diagnosis, and practically apply basic results in medical practice (vertebrology, maxillofacial surgery, vascular disorders in diseases with systemic lupus, fibromyalgia, surgery of the anterior abdominal wall);
- reflect the obtained results and innovations in scientific publication or in international scientific conference in field biophotonics
- prepare national or European-China Union research program project proposal for the further investigation of light-tissue interaction and early detection of microcirculation alterations.

### Conclusion

Main research areas in creation biomedical technologies for diagnosis and treatment

- Development of optoelectronic systems of diagnosis of peripheral blood supply
- Development of two-dimensional systems multiparameter Mueller-matrix polarimetry for optical diagnostics-multilayer anisotropic structure of biological tissues
- Development of optoelectronic information - measuring systems for non-invasive diagnostics of biological tissues
- Development of laser devices for physiological effects
- The development of tomographic methods and implementation of optoelectronic systems of microcirculation research and conjunctiva of the eye fundus
- Methods of processing of biomedical images and signals

### References

1. N. Romanyuk; S. V. Pavlov; R. Yu. Dovhaliuk; N. P. Babyuk; M. D. Obidnyk, et al. Microfacet distribution function for physically based bidirectional reflectance distribution functions, *Proc. SPIE* 8698, Optical Fibers and Their Applications 2012, 86980L (January 11, 2013); doi:10.1117/12.2019338
2. N. I. Zabolotna; W. Wojcik; S. V. Pavlov; O. G. Ushenko and B. Suleimenov. Diagnostics of pathologically changed birefringent networks by means of phase Mueller matrix tomography, *Proc. SPIE* 8698, Optical Fibers and Their Applications 2012, 86980E (January 11, 2013); doi:10.1117/12.2019715
3. J. R. Rovira; Sergey V. Pavlov; Valentina B. Vassilenko; Waldemar Wójcik and L. Sugurova. Methods and resources for imaging polarimetry, *Proc. SPIE* 8698, Optical Fibers and Their Applications 2012, 86980T (January 11, 2013); doi:10.1117/12.2019732
4. S. V. Pavlov; S. V. Sander; T. I. Kozlovska; A. S. Kaminsky; W. Wojcik, et al. Laser photoplethysmography in integrated evaluation of collateral circulation of lower extremities, *Proc. SPIE* 8698, Optical Fibers and Their Applications 2012, 869808 (January 11, 2013)
5. Methods of Processing Video Polarimetry Information Based on Least-Squares and Fourier Analysis // RH Rovira, SV Pavlov, OS Kaminski, MM Bayas - Middle-East Journal of Scientific Research, T. 16 (9), 1201-1204 2013. – P.1201-1204.
6. N. I. Zabolotna; S. V. Pavlov; A. G. Ushenko; A. O. Karachevtsev; V. O. Savich, et al. System of the phase tomography of optically anisotropic polycrystalline films of biological fluids, *Proc. SPIE* 9166, Biosensing and Nanomedicine VII, 916616 (August 27, 2014)
7. N. I. Zabolotna; S. V. Pavlov; A. G. Ushenko; O. V. Sobko and V. O. Savich. Multivariate system of polarization tomography of biological crystals birefringence networks, *Proc. SPIE* 9166, Biosensing and Nanomedicine VII, 916615 (August 27, 2014)

О.В. БОЙКО, К.І. ІЛЬКАНИЧ, С.В. РІЗНИЧОК, В.Ю. МАЙХЕР  
Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ AS4U ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ВЕБ-РЕСУРСУ ФАХОВОГО МЕДИЧНОГО ПЕРІОДИЧНОГО ВИДАННЯ

**Анотація:** У матеріалах досліджено новітні підходи інформатизації наукових періодичних видань. Запропонована модель інформатизації наукових медичних періодичних видань, яка складається із двох етапів: перший – створення індивідуального офіційного сайту; другий – представлення фахового періодичного видання в міжнародних науково-метричних базах даних. Розроблена схема сайту наукового медичного періодичного видання. Запропоновані підходи до проектування, розробки та керування наповненням інтернет-ресурсу реалізовані на прикладі наукового медичного часопису Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького “Acta Medica Leopoliensia”.

**Ключові слова:** інформатизація, наукове періодичне видання, AS4U, Public4u, File4u, Galery4u, інформаційний ресурс.

O.V. BOYKO, K.I. ILKANYCH, S.V. RIZNYCHOK, B. YU. MAIKHER  
Danylo Halytsky Lviv National Medical University

## EFFICIENCY OF USE AS4U SYSTEMS FOR IMPLEMENTATION OF THE WEB RESOURCES MEDICAL PROFESSIONAL PERIODICALS

*Annotation: In the materials are researched the latest approaches of informatization of the scientific periodicals. The model of informatization of scientific medical periodicals is proposed, which consists of two stages: the first - the creation of an individual official site; the second is the presentation of a professional periodical in international scientific-metric databases. The structure of the information resource model for the implementation of informatization of the services of the magazine with the use of modern IT technologies is developed; formation of a methodology for assessing the effectiveness of the use of information technology at the stages of their implementation and operation; creation of the software product algorithm and elaboration of the mechanism of implementation and determination of methodological approaches to the assessment of investment efficiency in the IT system; The capabilities of the software AS4U product is developed and implemented the web project coled [www.aml.lviv.ua](http://www.aml.lviv.ua) - professional edition of Acta Medica Leopoliensia / Lviv Medical Journal (AML), the founder of which is Danylo Halytsky Lviv National Medical University (LNMU) . In the article offered approaches to design, develop and manage content of an Internet resource. As the result of the scientific analysis and new approaches to informatization of medical institutions, and new design and development of web presentations for medical periodicals was analyzed the statistical operating indicators of the developed product and as a result there is a tendency to increase the number of publications annually as among the authors of the LNMU, and as well from other medical scientific institutions. For the development of an online resource for scientific medical periodical are proposed a new approach facilitates simplification a dialogue between the authors and the editorial board of the magazine. Presentation of professional publications in the Internet as a separate site allows increasing demands of scientific publications and improve the quality of published materials.*

*Keywords: informatization, scientific periodical, AS4U, Public4u, File4u, Galery4u, information resource.*

### Вступ

Важливу роль у процесі наукової комунікації належить фаховим періодичним виданням. Публікація у науковій періодиці дозволяє вченим створювати нові інформаційні повідомлення, брати участь у наукових дискусіях, мати доступ до актуальної наукової інформації, відкриває нові творчі можливості для наукового співробітництва і, як наслідок, сприяє впровадженню новітніх розробок у системі охорони здоров'я. Тому особливо актуальною нині стала інформатизація періодичних видань України.

### Постановка проблеми

Метою нашого дослідження була розробка моделі інтернет-ресурсу науково-практичного періодичного видання, вибір сучасної технології проектування й розробки веб-презентації, створення та впровадження проекту інтернет-сайту періодичного часопису, оцінка впливу використання веб-технології на наповнення контенту періодичного видання.

Розроблена нами концепція інформатизації наукових медичних періодичних видань відповідає вимогам наведеного вище наказу Міністерства освіти і науки України і Міністерства освіти і науки України передбачає реалізацію двох етапів: *перший* - створення індивідуальних офіційних сайтів; *другий* – представлення фахового періодичного видання в міжнародних науково-метричних базах даних. Такий підхід дозволить розширити національний науковий простір України, надасть науковцям більші можливості для аналізу публікацій та подання статей, підтримки їх супроводу від моменту подання до публікації. З метою впровадження цієї концепції нами Міністерства освіти і науки України було розроблено інтернет-ресурс фахового періодичного видання.



### Рішення задачі

У результаті наукового аналізу й пошуку нових підходів в інформатизації медичних закладів та нових технологій проектування й розробки веб-презентацій для медичних періодичних видань було проведено: розробку структури моделі інформаційного ресурсу для реалізації інформатизації послуг часопису з використанням сучасних ІТ технологій; формування методики оцінки ефективності застосування інформаційних технологій на етапах їх впровадження та експлуатації; створення алгоритму програмного продукту та опрацювання механізму впровадження та визначення методичних підходів до оцінки ефективності інвестицій у ІТ системи; засобами програмного продукту AS4U [3] розроблено та впроваджено проєкт веб-ресурсу [www.aml.lviv.ua](http://www.aml.lviv.ua) – інтернет-сайт фахового видання “Acta Medica Leopoliensia / Львівський медичний часопис” (AML), засновником якого є Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького (ЛНМУ).

Вплив запровадження інтернет-ресурсу на наповнення контенту часопису наведено на рис. 4. Проглядається тенденція до збільшення кількості публікацій щорічно як із числа авторів-працівників ЛНМУ, так і з інших медичних наукових установ.

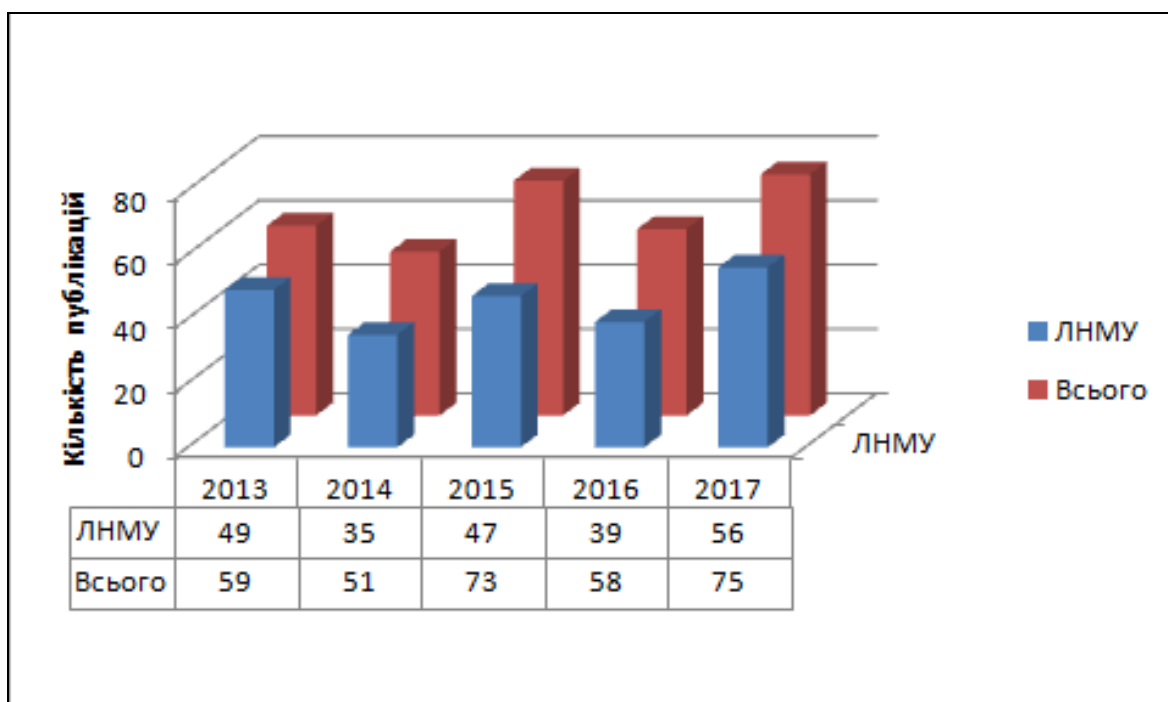


Рис. 4. Динаміка кількості публікацій у часописі AML по роках.

Окрім науковців ЛНМУ, авторами часопису AML у 2014-2017 рр. стали представники Інституту медсестринства і наук про здоров'я (Жешув, Польща), Інституту медицини села (Люблін, Польща), Академії фізичного виховання, Сьльонського медичного університету (Катовіце, Польща), переважної більшості наукових та навчальних закладів України: Національного медичного університету імені О.О. Богомольця, Національної медичної академії післядипломної освіти ім. П.Л. Шупика, Вінницького національного медичного університету імені М.І. Пирогова, Харківського національного медичного університету, Української медичної стоматологічної академії (Полтава) та ін. Таким чином, можна констатувати, що впровадження інтернет-сторінки наукового періодичного видання сприяє розширенню наукових комунікацій.

### Висновки

Запропонований у розробці інтернет-ресурсу наукового медичного періодичного видання новий підхід сприяє спрощенню діалогу між авторами та редколегією журналу. Представлення фахового видання в інтернет-просторі у якості окремого сайту дозволяє збільшити вимогливість до наукового рівня публікацій та підвищити якість опублікованих матеріалів.

---

Багатомовна реалізація сайту дозволяє використовувати іноземні мови для підготовки публікацій, інтеграцію видання до світового наукового простору, продовжити заходи щодо включення його у міжнародні науково-метричні бази.

### Література

1. Воскобойнікова-Гузева О.В. Наукові видання України в інтернет-просторі / О.В. Воскобойнікова-Гузева // Наука України у світовому інформаційному просторі. – 2010. – Вип. 3. – С. 36-43.
2. Ільканич К.І. Професійна розробка інтернет-порталів, інтернет-презентацій засобами системи AS4U [Електронний ресурс] . Режим доступу: [www.r-incon.com.ua](http://www.r-incon.com.ua)
3. Наказ Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України № 32 від 15.01.2018 р. «Про затвердження Порядку формування Переліку наукових фахових видань України» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0148-18>
4. Ярошенко Т.О. Електронні журнали в системі інформаційних ресурсів бібліотеки : монографія / Т.О. Ярошенко. – К.: Знання, 2010. – 215 с.
5. Яцків Т.М. Наукова періодика в Україні: перспективи і проблеми розповсюдження. Режим доступу: [www.nas.gov.ua/series/12\\_Yatskiv](http://www.nas.gov.ua/series/12_Yatskiv).
6. Платонов О.Д. Про засади інформатизації періодичних видань НАН України / О.Д. Платонов // Наука України у світовому інформаційному просторі. – 2010. – Вип. 3. – С. 45-60.
7. Радченко А.І. Періодика майбутнього – паперова чи електронна? / А.І. Радченко // Наука та наукознавство. – 2010. - № 2. – С. 46-50.

### References

1. Voskoboynikova-Huzyeva O.V. Naukovi vydannya Ukrayiny v internet-prostori / O.V. Voskoboynikova-Huzyeva // Nauka Ukrayiny u svitovomu informatsiynomu prostori. – 2010. – Vyp. 3. – S. 36-43.
2. Il'kanych K.I. Profesiyna rozrobka internet-portaliv, internet-prezentatsiy zasobamy systemy AS4U [Elektronnyy resurs] . Rezhym dostupu: [www.r-incon.com.ua](http://www.r-incon.com.ua)
3. Nakaz Ministerstva osvity i nauky, molodi ta sportu Ukrayiny № 32 vid 15.01.2018 r. «Pro zatverdzhennya Poryadku formuvannya Pereliku naukovykh fakhovykh vydan' Ukrayiny» [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0148-18>.
4. Yaroshenko T.O. Elektronni zhurnaly v systemi informatsiynykh resursiv biblioteki : monohrafiya / T.O. Yaroshenko. – K.: Znannya, 2010. – 215 s.
5. Yatskiv T.M. Naukova periodyka v Ukrayini: perspektyvy i problemy rozpovsyudzhennya. Rezhym dostupu: [www.nas.gov.ua/series/12\\_Yatskiv](http://www.nas.gov.ua/series/12_Yatskiv).
6. Platonov O.D. Pro zasady informatyzatsiyi periodychnykh vydan' NAN Ukrayiny / O.D. Platonov // Nauka Ukrayiny u svitovomu informatsiynomu prostori. – 2010. – Vyp. 3. – S. 45-60.
7. Radchenko A.I. Periodyka maybutn'oho – paperova chy elektronna? / A.I. Radchenko // Nauka ta naukoznavstvo. – 2010. - № 2. – S. 46-50.

A.YU.PANCHENKO, N.I. SLIPCHENKO, O.B.ZAICHENKO, I.N.BONDARENKO

Kharkov National University of Radioelectronics

oleksandr.panchenko@nure.ua

## COAXIAL APERTURE SENSOR FOR ASSESSING THE STATE OF BIOLOGICAL OBJECTS

Water is the main substance that makes living organisms. The state of any bioobject is characterized by the total amount of water in it and its distribution. In biological matter, water can be in two states, in the form of free water and water, associated with its macromolecules. The distribution of free water and water associated with molecules of biological matter determines its state. Therefore, the task of rapid assessment of water distribution is topical. The water molecule has a low mass and in the free state the molecules have a high relaxation frequency, which lies in the microwave range. The dipole moment of water has a high value. Therefore, at frequencies below the relaxation frequency, water has a high value of the dielectric constant. In the bound state, its electrophysical properties of water depend on the properties of the macromolecule in which it is embedded. Therefore, microwave methods and electrodynamic measurement sensors are effective means of operative measurements. They have a high speed, simple measurement procedure, do not require special preparation of samples, they allow performing non-destructive testing. Therefore, under certain conditions, they have advantages over other methods. However, the problems of using electrodynamic methods are caused by the indirect nature of the data obtained and the rather complicated process of determining the transfer function of the microwave sensor. The report presents a scheme of the microwave sensor, in which the generatrix coincides with the coordinate surfaces. For such a scheme, you can create a rigorous analytical model. Solving the task of describing fields in the working area of such a sensor allows determining the transfer function of the sensor. The presented scheme allows a principled possibility of further development. For example, in the presence of a mathematical model of changes in the properties of a bioobject under external influence. This will allow a numerical evaluation of the sensor parameters at the theoretical preparation stage. Such an approach will significantly reduce time costs and reduce the cost of design, prototyping and experimental development of specific designs.

**Keywords:** aperture, capacitance, coaxial line, boundary conditions, eigenfunctions, bound water, free water, electromagnetic field components.

О.Ю. ПАНЧЕНКО, М.І. СЛИПЧЕНКО, О.Б. ЗАЙЧЕНКО, І.М. БОНДАРЕНКО

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

oleksandr.panchenko@nure.ua

## КОАКСІАЛЬНИЙ АПЕРТУРНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ОЦІНКИ СТАНУ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

У доповіді наведена схема НВЧ сенсора, у якого твірні збігаються з координатними поверхнями. Для такої схеми можна створити строгі аналітичну модель. Рішення завдання опису полів у робочій області такого сенсора дозволяє визначити передавальну функцію сенсора. Наведена схема припускає принципову можливість подальшого розвитку. Наприклад, при наявності математичної моделі змін властивостей біооб'єкту під зовнішнім впливом. Це дозволить дати чисельну оцінку параметрам сенсора вже на етапі теоретичної підготовки. Такий підхід суттєво скоротить часові витрати і здешевить етапи проектування, макетування та експериментального відпрацювання конкретних конструкцій.

**Ключові слова:** апертура, ємність, коаксіальна лінія, граничні умови, власні функції, зв'язана вода, вільна вода, компоненти електромагнітного поля.

In the study of biological objects, electrodynamic methods are often used. They allow to explore objects in vivo, have a high speed of information obtaining, can be used outside laboratories. The primary information in electrodynamic means of measurement is a complex dielectric constant. Its value depends to a large extent on the distribution of free water and water associated with its macromolecules of biological matter [1,2]. On the other hand, the state of the bioobject is characterized by the distribution of free water and water.

The water molecule has a low mass (18 u) and a significant dipole moment ( $p = 1.84$  D). In the free state, the molecules have a relaxation frequency of about 10 GHz. Below this frequency water has a high dielectric constant. In the bound state, the properties of water depend on the properties of the macromolecule into which it is embedded. Therefore, electrodynamic measuring devices operating in the microwave range allow a significant amount of information to be obtained to estimate the distribution of free and bound water.

Two types of microwave converters are used: waveguide and resonator. The most suitable type of microwave converter is a quarter-wave resonator (QR) with a sensor in the form of an open coaxial measuring aperture (CMA) (Fig. 1).

It has a number of advantages. A significant part of the antinode of the electric field, as shown in Fig. 1, is outside the main resonating volume. Therefore, with some loss of sensitivity, the working region can be located outside the resonator. The coupling

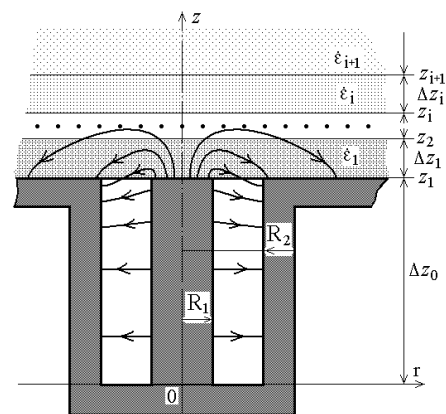


Figure 1 – QR with CMA sensor

of the field of the resonator with the sample is carried out through the CMA (section z1).

CMA can be equipped with dielectric inserts, rings, which allow changing the transfer function. Dimensions of the CMA can be substantially smaller than the wavelength. Therefore, the volume of biological samples can be minimal. QR allows a change in operating frequency over a wide range. To do this, it is sufficient to change its inductive, shorted part ( $\Delta z_0$  in Fig. 1). Another advantage of this sensor is that it is possible to obtain a rigorous mathematical representation of the EMF components in the entire volume of the QR [3,4]. Using certain approximations, the final expressions can be not too cumbersome. In particular, it is possible to specify a source in the form of an electric field in the plane of the aperture [5].

When  $E_r(z_1, r) = U_0 r'^{-1}$ , on the basis of the known tensor Green's functions of the Maxwell equations for cylindrical regions, one can obtain an expression for the magnetic field  $\tilde{H}_\phi(z_1, r)$ . It can be taken into account that the sample is multilayer one, as shown in Fig.1. Using the representations for the Poynting vector, one can obtain expressions for the reduced capacitance in the CMA plane:

$$\tilde{C}_1 = \frac{-i4\pi}{\omega U_0 \ln^2(R_2/R_1)} \int_{R_1}^{R_2} \tilde{H}_\phi(z_1, r') dr' .$$

#### Conclusion

The selected sensor circuit does not require a large sample volume, permits to influence on the object under test during the measurements, simultaneously ensuring the repeatability and definiteness of their conditions, allows for the principle possibility of the holding of all stages of the theoretical calibration. Especially it should be noted that this sensor can operate in a wide range of frequencies, from the relaxation frequency of free water to, practically, zero.

#### References

1. Shchegoleva T.Yu. Gidratnoye okruzheniye i struktura makromolekul / T.Yu. Shchegoleva. // Uspekhi sovremennoy biologii. – 1996. – T.116, №6. – S. 700–714.
2. Shchegoleva T.Yu. Issledovaniye biologicheskikh ob'yektov v millimetrovom diapazone radiovoln / T.Yu. Shchegoleva. – K.: Naukova dumka, 1996. – 182 s.
3. Panchenko A. Y. On the development of a practical technique of theoretical calibration of resonant sensors for near-field microwave diagnostics / A. Yu. Panchenko, N. I. Slipchenko, A. N. Borodkina. // Telecommunication and Radio Engineering. – 2014. – V.73, №15. – P. 1397–1407.
4. Koaksial'nyy sensor otkrytogo tipa. Integral'noye uravneniye elektricheskogo polya v ploskosti apertury / CH.Lyu, A. Yu. Panchenko, N. I. Slipchenko, O. B. Zaychenko. // Vestnik NTU KPI. Seriya Radiotekhnika. Radioapparatostroyeniye. – 2017. – №69. – S. 11–16.
5. Gordiyenko Yu. Ye. Priblizheniye zadannogo polya v zadachakh opredeleniya kharakteristik rezonatornykh SVCH - datchikov aperturnogo tipa / Yu. Ye. Gordiyenko, A. Yu. Panchenko, R. S. Far. // Radiotekhnika: Vseukrainskiy mezhvedomstvennyy nauchno-tekhnicheskii sbornik. – 1998. – №107. – S. 93–103.

#### Література

1. Щеголева Т. Ю. Гидратное окружение и структура макромолекул / Т. Ю. Щеголева. // Успехи современной биологии. – 1996. – Т.116, №6. – С. 700–714.
2. Щеголева Т. Ю. Исследование биологических объектов в миллиметровом диапазоне радиоволн / Т. Ю. Щеголева. – К.: Наукова думка, 1996. – 182 с.
3. Panchenko A. Y. On the development of a practical technique of theoretical calibration of resonant sensors for near-field microwave diagnostics / A. Y. Panchenko, N. I. Slipchenko, A. N. Borodkina. // Telecommunication and Radio Engineering. – 2014. – V.73, №15. – P. 1397–1407.
4. Коаксиальный сенсор открытого типа. Интегральное уравнение электрического поля в плоскости апертуры / Ч.Лю, А. Ю. Панченко, Н. И. Слипченко, О. Б. Зайченко. // Вестник НТУ КПИ. Серия Радиотехника. Радиоаппаратостроение. – 2017. – №69. – С. 11–16.
5. Гордиенко Ю. Е. Приближение заданного поля в задачах определения характеристик резонаторных СВЧ - датчиков апертурного типа / Ю. Е. Гордиенко, А. Ю. Панченко, Р. С. Фар. // Радиотехника: Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. – 1998. – №107. – С. 93–103.

**КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗАТОР ІНФОРМАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ АФІННИХ  
БІОСЕНСОРНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ**

*Розглядається розроблений програмно-орієнтований метод аналізу в частотній області інформаційних сигналів матричних афінних біосенсорів на базі поруватого кремнію*

*Ключові слова: корелятор, імпедансна спектроскопія, біосенсор, поруватий кремній, Фур'є-аналіз, апроксимація*

R.YA. YAREMYK

Ivan Franko National University of Lviv  
yaremyk@yahoo.com**CORRELATION ANALYZER OF THE INFORMATION SIGNALS OF AFFINE BIOSENSOR TRANSDUCERS**

*Abstract: The novel software-intensive approach and algorithm real-time computation for identification of biochemical processes of biosensors by frequency response analysis are considered. The principle of apparatus realization of the interface is based upon decentralized architecture of the program-managed analog-digital and digital-analog units, the majority of which are integrated into the chip of the multisignal controller produced by the firm Cypress and digital signal processor (DSP) produced by the firm Texas Instruments.*

*Experimental affine biosensor is developed and approved with transducer on the base of porous silicon (porSi) - perspective sensory material with unique electro-physical properties. Modification of surface of porous silicon as a result of a complexing agents antigen-antibody in the process of immunoreactions changes a volt-ampere, volt-farade and impedance characteristics of primary transducer. Impedance analysis allows to identify objects and processes of sensory matrix and kinetics of their change, as they are characterizing individual frequency responses. The construction of individual complex amplitude-frequency characteristic of sensory matrix will be realized on the basis of cross-correlation methods of analysis and processing of signals.*

*On the input of every element of sensory matrix the excitant is given a signal with parameters near to white noise which as the classic delta-correlated process are considered. If a test-signal on the input of linear quadripole-sensor, autocorrelation function  $C_{xx}(\tau)$  which can be presented  $\delta$ -function, then inter-correlation function of  $C_{yx}(\tau)$  is between input and output signals, will be equal to pulse characteristic of the system.*

*Complex FFT fast Fourier transform of autocorrelation function of output signal of  $C_{yy}(\tau)$  equals the square of the module complex transfer function and admittance matrix.*

*We have also developed the program of graphic visualization of the experimental data and the results of their mathematical processing. This program allows automatic scaling and choosing different function by the user as arguments for comparative analysis.*

*Keywords: correlator, impedance spectroscopy, biosensor, porous silicium, Fourier analysis, approximation*

Розроблено і апробовано експериментальний афінний біосенсор з трансдюсером на базі поруватого кремнію - перспективного сенсорного матеріалу з унікальними електрофізичними властивостями. Поруватий кремній (ПР) – наноструктурований матеріал, який характеризується високим впливом дії локальних мікрополів адсорбованих на поверхні молекул, на механізм переносу носіїв зарядів. Модифікація поверхні поруватого кремнію внаслідок комплексоутворення антиген-антитіло в процесі імунних реакцій змінює вольт-амперні, вольт-фарадні та імпедансні характеристики первинного перетворювача.

Для аналізу змін електрофізичних параметрів ПР в процесі реєстрації біохімічних реакцій, кожен елемент сенсорної матриці представляється лінійним електричним чотириполосником ("чорним ящиком") з індивідуальною еквівалентною схемою заміщення та індивідуальним комплексним коефіцієнтом передачі. Комплексний коефіцієнт передачі дозволяє ідентифікувати об'єкти і процеси сенсорної матриці та кінетику їх зміни, оскільки вони характеризуються індивідуальними частотними відкликами.

Побудова індивідуальних комплексних коефіцієнтів передачі елементів сенсорної матриці реалізується на основі кореляційних методів аналізу та обробки сигналів. На вхід кожного елемента сенсорної матриці подається збуджуючий сигнал з параметрами близькими до білого шуму, який розглядається як класичний  $\delta$ -корельований процес. Якщо на вхід лінійного чотириполосника-сенсора поступає тест-сигнал, автокореляційну функцію  $C_{xx}(\tau)$  якого можна представити  $\delta$ -функцією, то взаємна кореляційна функція  $C_{yx}(\tau)$  між вхідним і вихідним сигналами, буде рівна імпульсній характеристиці системи, а Фур'є-образ автокореляційної функції вихідного сигналу  $C_{yy}(\tau)$  рівний квадрату модуля передаточної функції  $\{1\}$ :

$$TF\{C_{yy}(\tau)\} = |H(v)|^2 = |W(2\pi jv)|^2 \quad (1)$$

Вхідні тест-сигнали для сенсорних елементів матричного біосенсора формуються програмно-апаратними засобами цифрового сигнального процесора (DSP) типу TMS320F2812 фірми Texas Instruments. Синхронно з подачею вхідних тест-сигналів DSP-процесор з допомогою швидкодіючого аналого-цифрового перетворювача реєструє відліки сигналу відклику та обчислює значення взаємно-кореляційної функції між вхідним і вихідним сигналами. Отримана послідовність  $h(n)$  буде шуканою імпульсною функцією відповідного сенсорного елемента, яка функціонально зв'язана з номінальними чисельними параметрами еквівалентної електричної схеми заміщення даного сенсорного елемента-чоритиполосника і відображає особливості його внутрішньої структури. На основі отриманих відліків функції  $h(n)$  визначається

комплексний коефіцієнт передачі чотириполосника який є Фур'є-трансформантою його імпульсної функції [2]:

$$K(e^{j\omega T}) = \sum_{n=0}^{\infty} y(nT) \cdot e^{-jn\omega T} \quad (2)$$

де  $\omega = 2\pi \cdot f$  – циклічна частота,  $y(nT) = h(nT)$  – імпульсна функція.

Комплексний коефіцієнт передачі дозволяє ідентифікувати об'єкти і процеси сенсорної матриці та кінетику їх зміни, оскільки вони характеризуються індивідуальними частотними відкликами. Розроблено метод і програмне забезпечення, які дозволяють представити багатомірну передаточну характеристику матричного біосенсорного перетворювача у вигляді суперпозиції одномірних апроксимуючих функцій поліноміального типу. Побудова апроксимаційної конструкції виконується в кілька етапів, на кожному з яких враховуються специфічні для даних сенсорних елементів властивості та апіорна інформація, що отримується в процесі індивідуального калібрування. Особливістю методу є ітеративне застосування єдиної програмної процедури для побудови системи одномірних апроксимаційних функцій на основі скануючого алгоритму вибору регулярної сітки вузлів апроксимації та послідовна побудова апроксимуючих ступеневих поліномів по кожній змінній, які дозволяють отримати компактний однозв'язний список поліноміальних коефіцієнтів, що описують передаточну характеристику біосенсора в процесі вимірювання.

Алгоритм побудови аналітичного представлення коефіцієнта передачі кожного сенсорного елемента полягає в знаходженні коефіцієнтів апроксимуючого поліному у вигляді функції:

$$K(F) = \sum_{i=0}^3 a_i \cdot F^i, \quad i = 0, \dots, 3 \quad (3)$$

де  $F$  – частота,  $i$  – порядок поліному,  $a_i$  – шукані коефіцієнти поліному.

В межах робочого частотного діапазону з рівномірним кроком вибираються чотири вузли інтерполяції для значень частот  $F_0, F_1, F_2, F_3$ . Для вибраних інтерполяційних вузлів програмно генерується система лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{aligned} K_0(F) &= a_0 + a_1 \cdot F_0 + a_2 \cdot F_0^2 + a_3 \cdot F_0^3, \\ K_1(F) &= a_0 + a_1 \cdot F_1 + a_2 \cdot F_1^2 + a_3 \cdot F_1^3, \\ K_2(F) &= a_0 + a_1 \cdot F_2 + a_2 \cdot F_2^2 + a_3 \cdot F_2^3, \\ K_3(F) &= a_0 + a_1 \cdot F_3 + a_2 \cdot F_3^2 + a_3 \cdot F_3^3, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $K_0, \dots, K_3$  – коефіцієнти передачі у вибраних вузлах інтерполяції для частот  $F_0, \dots, F_3$ . Значення коефіцієнтів отримуються в процесі вимірів на основі обчислення виразу (2).

Векторно-матрична форма система рівнянь (4) має вигляд:

$$\begin{bmatrix} K_0(F) \\ K_1(F) \\ K_2(F) \\ K_3(F) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & F_0 & F_0^2 & F_0^3 \\ 1 & F_1 & F_1^2 & F_1^3 \\ 1 & F_2 & F_2^2 & F_2^3 \\ 1 & F_3 & F_3^2 & F_3^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix}, \quad \text{або} \quad \mathbf{K}(F) = \mathbf{W}(F) \cdot \mathbf{A} \quad (5)$$

де  $\mathbf{K}(F) = [K_i(F)]$  – вектор вільних членів, побудований з табличних значень функції,

$\mathbf{W}(F) = [F_i^j]$  – матриця Вандермонда, побудована з табличних значень аргумента  $F$ ;  $\mathbf{A} = [a_i]$  – вектор невідомих, (вектор коефіцієнтів визначуваного поліному). Шукані коефіцієнти інтерполюючого поліному визначаються методом розв'язання системи рівнянь:

$$\mathbf{A} = \mathbf{W}^{-1}(F) \cdot \mathbf{K}(F) \quad (6)$$

Ідентифікація реєстрованих процесів виконується методом співставлення індивідуальних базових калібрувальних характеристик та характеристик експериментально отриманих в процесі вимірювання.

### Література

1. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. Т.1. Пер. с франц. –М.: Мир, 1983. -181с.
2. Харкевич А.А. Основы радиотехники. –3-е изд., – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. –102 с.

### References

1. Maks Zh. Metody i tekhnika obrabotki signalov pri fizicheskikh izmereniyakh. Tom 1. Per. s frants. – М.: Mir, 1983. -181s.
2. Kharkevich A.A. Osnovy radiotekhniki. –3-ie izd., – М.: PHIZMATLIT, 2007. –102s.

О.І. ДОРОШ, О.Ю. СТЕПАНЮК

Національний університет «Києво-Могилянська Академія»

Г.Л. КУЧМІЙ

Національний університет «Львівська політехніка»

Н.В. ДОРОШ, М.В. КОЦАРЕНКО

Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького  
nvdorosh54@gmail.com

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕДИЧНИХ ГАДЖЕТІВ ТА МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ БІОМЕДИЧНИХ ДАНИХ

*В роботі розглянуто сучасний стан розробки та застосування медичних гаджетів та мобільних додатків різного типу для спостереження за станом здоров'я людини. Показано, що за їх допомогою можна контролювати фізичну активність, кількість та якість сну, встановлювати місцезнаходження людини, вибрати режим харчування та розраховувати кількість спалених калорій та ін., а за допомогою мобільних додатків результати вимірювання можуть відображатися у числовому та графічному вигляді на екрані смартфона. Кількість пропонованих на ринку медичних гаджетів та мобільних додатків стрімко зростає, розширюються також їх функціональні можливості. Представлено особливості застосування медичних гаджетів та відповідних мобільних додатків для вимірювання та аналізу фізіологічних показників, що характеризують стан серцево-судинної системи людини. Приведено порівняльну оцінку функціональних можливостей та результатів вимірювання частоти серцевих скорочень та артеріального тиску за допомогою мобільних медичних засобів MioFuse+MioGo та SK11s+FitCloud. Встановлено, що для фітнес-браслету SK11s не передбачено опції доступу до внутрішньої пам'яті гаджету або до бази даних смартфона для організації передачі даних на сервер, що є суттєвим обмеженням для подальшої аналітичної роботи з даними вимірювань. Додаток MioGo дозволяє здійснити передачу даних вимірювання з фітнес-браслету MioFuse у пам'ять смартфона та за допомогою вбудованої функції Extract Workout Data передати їх на серверну частину комп'ютерної системи. При розробці багатофункціональних мобільних вимірювальних систем з цифровою обробкою отриманих даних слід враховувати особливості функціональних можливостей та застосування медичних гаджетів, що вибираються для вимірювання фізіологічних показників та відповідних мобільних додатків для проведення професійного аналізу отриманих даних з використанням сучасних методів доказової медицини.*

*Ключові слова: медичні гаджети, мобільні додатки, вимірювання, аналіз*

O.I. DOROSH, O.Y. STEPANJUK

National University of Kyiv-Mohyla Academy

G.L.KUCHMIY,

Lviv Polytechnic National University

N.V.DOROSH, M.V.KOTCARENKO

Danylo Halytsky Lviv National Medical University

nvdorosh54@mail.ru

## PECULIARITIES OF USING MEDICAL GADGETS AND MOBILE APPLICATIONS FOR MEASUREMENT AND ANALYSIS OF BIOMEDICAL DATA

*The paper considers the current state of development and application of the different type medical gadgets and mobile applications for the health monitoring. It is shown that using this devices you can control physical activity, quantity and quality of sleep, locate a person, choose a diet and calculate the number of calories burned, etc., and with the help of mobile applications, the measurement results can be displayed numerically and graphically on the smartphone screen. The number of medical gadgets and mobile applications offered on the market is growing rapidly and their functionality is expanding. The features of the use of medical gadgets and mobile applications for measuring and analyzing physiological indicators, that characterizing the state of the human cardiovascular system are presented. The comparative estimation of functionality and results of measurement of heart rate and blood pressure using mobile medical devices MioFuse + MioGo and SK11s + FitCloud are presented. It has been established that for the SK11s Fitness Bracelet, there are no options for accessing the internal memory of a gadget or a smartphone database for organizing data transfer to the server, which is a significant limitation for further analytical work with measurement data. The MioGo application allows you to transmit measurement data from the MioFuse Fitness Bracelet to a smartphone and use the built-in Extract Workout Data function to transfer data to the server part of the computer system. When designing multifunctional mobile measurement systems with digital processing of the received data, account should be taken of the features of functional capabilities and the use of medical gadgets chosen to measure physiological parameters and relevant mobile applications for professional analysis of the data obtained using modern methods of evidence-based medicine.*

*Keywords: medical gadgets, mobile applications, measurement, analysis*

На даний час медичні гаджети та відповідні мобільні health-додатки для вимірювання та контролю біомедичних показників активно використовуються споживачами у повсякденному житті. Як правило, за їх допомогою можна контролювати фізичну активність, кількість та якість сну, вибрати режим харчування та розраховувати кількість спалених калорій та ін. Одним з важливих пріоритетів при розробці таких

гаджетів є забезпечення функціональної можливості вимірювання показників, що характеризують стан серцево-судинної системи, таких як частота серцевих скорочень, параметри артеріального тиску та рівень насичення крові киснем. Кількість пропонуваних на ринку медичних гаджетів та мобільних додатків стрімко зростає, розширюються також їх функціональні можливості. Результати вимірювання даних зберігаються у пам'яті приладів та за допомогою мобільних додатків можуть відображатися у числовому та графічному вигляді на екрані смартфона [1-3]. На рис. 1,2 представлено приклади відображення результатів вимірювання пульсу та артеріального тиску за допомогою медичних гаджетів MioFuse, який працює з мобільним додатком MioGO (рис.1) та медичного фітнес - браслету CK11s та мобільного додатку FitCloud (рис.2).

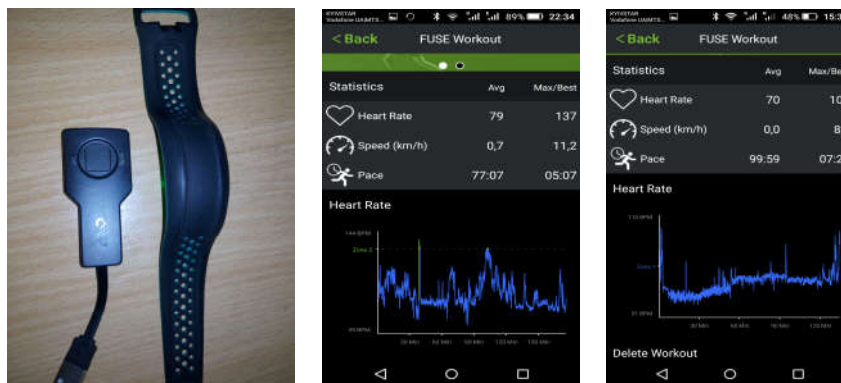


Рис.1 Медичний гаджет MioFuse та результати вимірювання частоти серцевих скорочень у режимі фізичної активності та під час сну на екрані смартфона у графічному вигляді

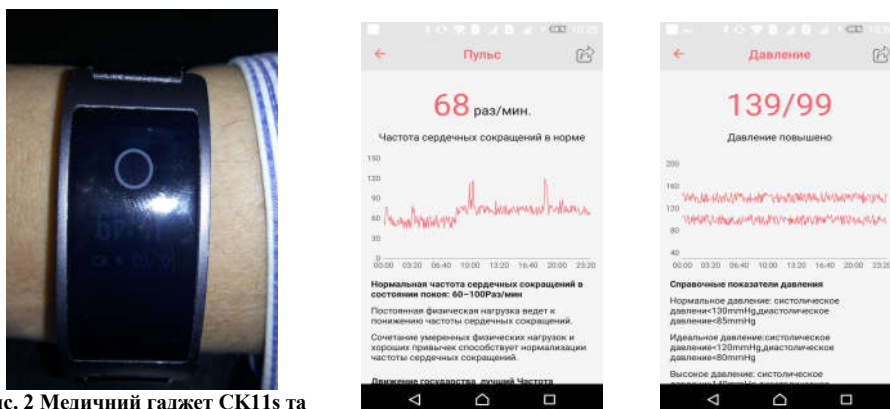


Рис. 2 Медичний гаджет CK11s та відображення результатів вимірювання пульсу та артеріального тиску у числовому та графічному вигляді на екрані смартфона

Актуальною задачею стає подальше опрацювання отриманих даних з метою проведення їх професійного аналізу з використанням сучасних методів доказової медицини. Проблемним питанням є можливість передачі масиву отриманих даних з гаджету на серверну частину комп'ютерної системи для подальшого аналізу. Нам не відома універсальна програма, яка дозволяє считувати дані вимірювань з любого типу медичних гаджетів. Наприклад, медичний гаджет CK11s дозволяє подивитися результати вимірювання пульсу та артеріального тиску у числовому вигляді на дисплеї гаджету або за допомогою мобільного додатку Fit Cloud отримати у числовому та графічному вигляді на екрані смартфона. Функції доступу до внутрішньої пам'яті гаджету або до бази даних смартфона для передачі даних на сервер не передбачено, що є суттєвим недоліком для роботи з даними вимірювань.

Додаток MioGo дозволяє здійснити передачу даних вимірювання на серверний комп'ютер за допомогою вбудованої функції Extract Workout Data. Вимірювання параметрів відбувається у режимі HOLD-GO-FIND-PULSE, а для передачі даних вимірювання з медичного гаджету MioFuse потрібно синхронізувати {опція SINC} його роботу з додатком MioGo, записати результати вимірювань {Fuse Workout} у пам'ять смартфона та за допомогою опції Extract Workout Data передати отримані дані на серверну частину системи та відкрити, наприклад, у середовищі електронних таблиць для подальшого опрацювання. На рис. 3. показано екран смартфона у режимі передачі даних за допомогою вбудованої опції Extract Workout Data та вікно електронної таблиці, де у другій колонці відображаються результати вимірювання частоти серцевих скорочень, а в останній – результати розрахунку тривалості кардіоінтервалів  $T_{R-R}$ . У вікні електронної таблиці також відображається інформація про дату і час вимірювання, тип медичного гаджету та марка смартфона.



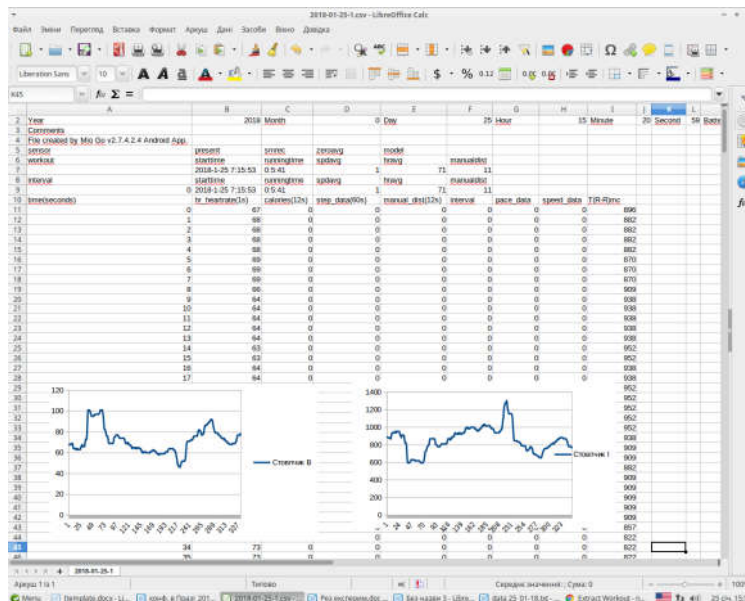


Рис. 3 Екран смартфона у режимі передачі даних за допомогою вбудованої опції Extract Workout Data та вікно електронної таблиці з масивом даних вимірювання Heart Rate та результатами розрахунку кардіоінтервалів

Масив даних вимірювання та результати проміжних розрахунків можна записати у текстові файли, і, наприклад, передати для аналізу варіабельності серцевого ритму {HRV} за допомогою спеціальної програми Project 1, а також проведення комплексного спектрального аналізу у різних ортогональних базисах [1,3].

При розробці багатофункціональних мобільних вимірювальних систем з цифровою обробкою отриманих даних слід враховувати особливості функціональних можливостей та застосування медичних гаджетів, що вибираються для вимірювання фізіологічних показників та відповідних мобільних додатків для рішення конкретних практичних задач.

### Література

1. M-health technology for personalized medicine / [N. V. Dorosh, O. V. Boyko, K. I. Ilcanich та ін.] // Development and modernization of medical science and practice:experience of Poland and prospects of Ukraine:Collective monograph / [N. V. Dorosh, O. V. Boyko, K. I. Ilcanich та ін.]. – Lublin, Poland: Izdevnieciba" Baltija Publishing", 2017. – С. 66–85.
2. Мінцер, О. П. Особливості діагностики стану здоров'я пацієнта з позиції мобільної медицини. Постановка проблеми [Текст] / О. П. Мінцер, Я. О. Шевченко // Медична інформатика та інженерія. - 2016, - № 4 – С. 31-36.
3. Multifunctional mobile information system with feedback for analysis of human health and improved access to medical services / [O. Boyko, N. Dorosh, K. Ilkanych та ін.]. // Proceedings of 2nd InternationalConference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2017). 4-7.07.2017. Lviv.2017. – 2017. – P. 278–281.

### Reference

1. M-health technology for personalized medicine / [N. V. Dorosh, O. V. Boyko, K. I. Ilcanich та ін.] // Development and modernization of medical science and practice:experience of Poland and prospects of Ukraine:Collective monograph / [N. V. Dorosh, O. V. Boyko, K. I. Ilcanich та ін.]. – Lublin, Poland: Izdevnieciba" Baltija Publishing", 2017. – С. 66–85.
2. Mincer, O. P. Osobly'vosti diagnosty'ky' stanu zdorov'ya paciyenta z pozy'ciyi mobil'noyi medy'cy'ny'. Postanovka problemy' [Tekst] / O. P. Mincer, Ya. O. Shevchenko // Medy'chna informaty'ka ta inzheneriya. - 2016, - № 4 – S. 31-36.
3. Multifunctional mobile information system with feedback for analysis of human health and improved access to medical services / [O. Boyko, N. Dorosh, K. Ilkanych та ін.]. // Proceedings of 2nd InternationalConference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2017). 4-7.07.2017. Lviv.2017. – 2017. – P. 278–281

Д. М. БАРАНОВСЬКИЙ, С. М. ЗЛЕПКО, С. В. ТИМЧИК,  
С. В. КОСТІШИН, Т. А. ЧЕРНИШОВА  
Вінницький національний технічний університет  
bdn993@gmail.com

## МОБІЛЬНІ ДОДАТКИ І СИСТЕМИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ І ЛІКУВАННЯ ЦУКРОВОГО ДІАБЕТУ 1-ГО ТИПУ

*Анотація: в роботі розглянуто результати дослідження сучасних приладів і систем для лікування цукрового діабету I типу. Проведено аналіз існуючих апаратів систем та мобільних додатків для лікування цукрового діабету I типу. Розглянуто проблему відсутності стандартів у мобільній охороні здоров'я, перешкоди інтенсивного розвитку систем мобільної охорони здоров'я.*

*Ключові слова: лікування цукрового діабету, цукровий діабет, глюкометр, мобільні додатки*

D. M. BARANOVSKYI, S. M. ZLEPKO, S. V. TIMCHIK, S. V. KOSTYSHYN, T. A. CHERNYSHOVA  
Vinnytsia National Technical University  
bdn993@gmail.com

### MOBILE APPLICATIONS AND SYSTEMS FOR THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF TYPE 1 DIABETES

*Abstract: the paper considers the results of the research of modern devices and systems for the treatment of type I diabetes. The analysis of existing systems of systems and mobile applications fortreatment of type I diabetes. Diagnosis and treatment of diabetes is one of the priority areas in which mobile health care can quickly progress and bring tangible benefits. According to the WHO report, diabetes is considered one of the fastest growing non-communicable diseases. Today, about ten percent of the adult population in developed countries suffers from diabetes. Diabetes is one of the major risk factors that cause many serious illnesses, such as heart failure, hypertension, lower limb blockage, renal failure, retinal neuritis, encephalopathy, and many others. Diabetes is a rather complex disorder of the endocrine regulatory system "glucose - insulin - glucagon", which is primarily characterized by hyperglycemia. One of the key issues in the organization of mobile healthcare networks is to achieve a balance between mobility, reliability, scalability, minimization of energy consumption and uninterrupted communication without introducing additional and, at the same time, excessive complexity in mobile devices. However, the service and support of mobile equipment on the user's side should be at least as comfortable and invisible as in modern mobile telephony. The lack of constant and uninterrupted communication, as well as well-developed technical support in mobile personal systems will lead to a significant reduction in their market share.*

*Key words: diabetes mellitus, diabetes mellitus, blood glucose meter, mobile applications.*

Однією з існуючих перешкод на шляху інтенсивного розвитку систем мобільної охорони здоров'я пов'язують з небажанням медперсонала перенавчатися та адаптуватися до вимог нових технологій. Лікарі і медичний персонал зазвичай використовують нові технології і пристрої мобільного охорони здоров'я, лише тоді коли вони бачать відчутні переваги. Тому розвиток ринку мобільних систем охорони здоров'я, в. т. ч. і в Україні, може дещо загальмувати із-за необхідності обов'язкового навчання клініцистів, медичних інженерів і лікарів вищої ланки (завідувачів відділеннями, головних лікарів та ін.) Зауважимо, що відповідно до численних медико-соціологічних досліджень (зокрема, проведених в Німеччині і США) велика частина лікарів в цілому задоволена своєю роллю і роботою, незважаючи на часті перевантаження, загальну втому і надлишок бюрократичних процедур [1]. До речі, в цьому відношенні мобільна охорона здоров'я надає можливості для зменшення навантаження на лікарів [1].

Одним з пріоритетних напрямків, в якому мобільна охорона здоров'я може швидко прогресувати і приносити відчутну користь, є діагностика і лікування діабету. Відповідно до звіту ВООЗ діабет вважається одним з найбільш швидкозростаючих незаразних захворювань. Сьогодні близько десяти відсотків дорослого населення в розвинених країнах страждають діабетом. Діабет – один із серйозних факторів ризику, який тягне за собою багато серйозних захворювань, таких, як уже згадана серцева недостатність, гіпертонія, закупорка судин нижніх кінцівок, ниркова недостатність, ретино-неврит, енцефалопатія та багато інших. Діабет є досить складним розладом ендокринної регуляторної системи «глюкоза - інсулін - глюкагон», який в першу чергу характеризується гіперглікемією [2].

З іншої сторони, діабет – це серйозне метаболічне порушення, яке вимагає спеціального опису і моделювання, зокрема, динаміки різних біохімічних компонентів, що беруть участь у метаболізмі. На жаль, прямі вимірювання викидів і надходження в кров трьох найбільш істотних компонентів, що впливають на рівень глюкози в плазмі крові, інсуліну (продукується бета-клітинами підшлункової залози), глюкагону (продукується альфа-клітинами підшлункової залози) і глікогену (полісахарид, який запасється і викадається в кровотік печінкою, що приводить до зростання рівня глюкози в крові) для кожного окремого пацієнта або занадто дорогі, або малоефективні. Тому в лікарській практиці використовується вимірювання концентрації глюкози в крові за взятою пробою, причому найменш інвазивним методом виявляється проколювання подушок пальців. При цьому багатьом діабетикам доводиться здавати кров кілька разів на день, витримувати процедуру, досить болючу особливо, для дітей, які і складають більшість серед пацієнтів з діабетом першого типу [3].

Можливе неінвазивне рішення для діагностики рівня цукру в крові було розроблено в університеті штату Вашингтон (США) спільно з дослідницьким підрозділом корпорації Microsoft (Microsoft Research). Справа в тому, що концентрацію глюкози в крові можна встановити не тільки з проб крові, але і практично з будь-якої рідини в тілі. Пропоноване рішення засновано на моніторингу рівня глюкози в сльозі за допомогою давачів, вмонтованих в контактні лінзи, які при цьому не звільняються від регулярної функції оптичної корекції зору [4]. Можна відзначити, що таке рішення відображає нову тенденцію в мобільних технологіях, відомих як створення природного інтерфейсу користувача (natural user interface – NUI).

Неінвазивний глюкометр «Омелон А-1» працює за принципом простого тонометра, заміряє тиск і пульс, а потім визначає за цими показниками величину, яка прямо пропорційна вмісту глюкози в крові. Пристрій визначає показники кров'яного тиску і частоти пульсу за допомогою компресійної манжети, що кріпиться до руки між ліктем і плечем. Тонometr визначає вміст цукру без забору крові, використовуючи дані, які були отримані після вимірювання тиску в артеріях [5].

Прилад «Gluco Track» (Ізраїль) визначає вміст цукру в крові, використовуючи спеціальну кліпсу, яка закріплюється на мочці вуха та зберігає ці значення для подальшого аналізу. Механізм дії поєднує в собі 3 технології: ультразвук, теплосмність і визначення електропровідності. Кожна з цих технологій раніше використовувалася в різних розробках, проте, жоден окремий метод не гарантував точних результатів. Але комбінація трьох дала можливість отримувати максимально точні показники [5].

«Contour ts» це глюкометр від німецького виробника – фірми «Байер», який має високу надійність і точність вимірювань та застосовується для звичайної терапії. Його перевагою є простота використання, яка забезпечується відсутністю кодування. Глюкометр має можливість підключення до ПК для передачі результатів вимірів, але тільки після придбання програмного забезпечення та кабелю [39]. Прилад містить вбудовану пам'ять на 250 вимірювань. Результати вимірювання рівня глюкози доступні через 8 секунд після початку вимірювання і виводяться на екран. Для збільшення автономності роботи передбачено автоматичне відключення приладу через 3 хвилини [6, 8].

Глюкометр «Diascont OK» – прилад російського виробництва, який визначає рівень цукру без кодування і працює за принципом електрохімічного аналізу. Кров вступає в реакцію з білком, після чого на екрані з'являється результат виміру. Після закінчення роботи прилад також виводить інформацію про те, чи є отриманий результат відхиленням від прийнятої норми [9]. Швидкість вимірювання складає 6 секунд. Пам'ять пристрою, розрахована на зберігання 250 вимірювань. Калібрування здійснюється за плазмою. Як і в попередньому приладі реалізовано автоматичне відключення протягом трьоххвилинного простою.

Глюкометр «EasyTouch GCHb» має кращий функціонал серед аналогічних приладів. Він здатний вимірює не лише рівень глюкози в крові, а й рівень холестерину та гемоглобіну. Пристрій працює за принципом кодування. Кров береться виключно з пальця. Результат вимірювання крові на глюкозу і гемоглобін - 6 секунд, на холестерин - 2 хвилини. Об'єм пам'яті здатний зберігати до 200 вимірювань на цукор, по 50 на гемоглобін і холестерин [7, 10].

Глюкометр «One touch select simple» – кращий прилад за показником комфортності використання. Апарат швейцарського виробника, працює без кодування. Має великий екран і два світлових індикатора, що сигналізують про підвищений або знижений рівень цукру. Прилад використовує звуковий сигнал при відхиленні рівня цукру від норми та значення рівня зарядки [11].

Ще однією з проблем мобільної охорони здоров'я є відсутність стандартів або їх неповнота. Ця зокрема, стосується менеджменту бездротових медичних мереж, їх взаємодії, надійності і безпеки. Так, в системах, заснованих на поєднанні сенсорів і смартфона, сьогодні застосовуються як мінімум чотири конкуруючих специфікації: Wi-Fi, Bluetooth, NFC і ZigBee [12]. При цьому вибір між протоколом Bluetooth і іншими виявляється особливо критичним, оскільки Bluetooth найчастіше використовується для з'єднання натільних сенсорів з мобільного базовою станцією, наприклад, смартфоном або ноутбуком. Bluetooth – стандарт бездротового зв'язку на малих відстанях; його початкове призначення було в тому, щоб замінити досить ненадійний інфрачервоний канал, і тепер він часто використовується в персональних, зокрема, натільних, мережах. Що ж стосується сімейства протоколів IEEE 802.11, відомого як набір протоколів Wi-Fi, то ця узагальнена специфікація дозволяє використовувати Інтернет так само легко, як: мобільний (стільниковий) зв'язок; Зауважимо, що Wi-Fi не проектувалася спеціально для мобільних додатків – це був просто бездротовий варіант локальної мережі (зокрема, Ethernet). Сам термін Wi-Fi можна розглядати як деяке, узагальнене поняття, що позначає швидше альтернативу кабельній мережі, ніж конкретну специфікацію [12].

Одним з кардинальних питань в організації мереж мобільної охорони здоров'я є досягнення балансу між мобільністю, надійністю, масштабованістю, мінімізацією споживання енергії та безперебійною комунікацією без того, щоб вносити додаткову, і разом з тим, надлишкову складність в мобільні пристрої. Але, сервіс і підтримка мобільного обладнання на стороні користувача повинні бути як мінімум настільки ж зручними і непомітними, як в сучасній мобільній телефонії. Відсутність постійного і безперебійного зв'язку, а також добре розвинутої технічної підтримки в мобільних персональних системах призведе до помітного скорочення їх частки ринку.

## Література

1. Mark W. Friedberg, Peggy G. Chen, Kristin R. Van Busum, Frances Aunon, Chau Pham, John Caloyeras, Soeren Mattke, Emma Pitchforth, Denise D. Quigley, Robert H. Brook, F. Jay Crosson, Michael Tutty. Factors Affecting Physician Professional Satisfaction and Their Implications for Patient Care, Health Systems, and Health Policy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rand.org/pubs/RR439.html>
2. Панкратов С. Г., Знаменская Т. Ю. – мобильные технологии в здравоохранении или (MHEALTH) концепция и перспективы Часть III Рынок для мобильных систем здравоохранения / менеджер здравоохранения, 2014, №4, с. 50-66.
3. Диабет 1 типа [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.glukometr03.ru>
4. Academic Programs - Microsoft Research [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://research.microsoft.com/en-us/collaboration/stories/nui\\_contactlens\\_cs.pdf](http://research.microsoft.com/en-us/collaboration/stories/nui_contactlens_cs.pdf).
5. Неинвазивные глюкометры без забора крови (Омелон, Glucotrack): отзывы, инструкции [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://diabethelp.org/izmeryaem/neinvazivnyj-glyukometr.html>
6. И. Чайковский, М. Ахманов. Неинвазивный глюкометр: реальность и надежды [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://moidiabet.ru/articles/neinvazivnii-gljukometr-realnost-i-nadejdi-ichaikovskii>
7. 10 гаджетов, помогающих следить за здоровьем с помощью смартфона [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://geektimes.ru/post/269842/>
8. Медведев О. В чем разница между глюкометрами Контур ТС и Контур Плюс [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.test-poloska.ru/review/contours/>
9. Diacont ОК [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://diacont.com.ua/>
10. Анализатор крови EasyTouch® GCHb [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.glukometry.ru/catalog/easytouch-gchb.html>
11. Глюкометр OneTouch Select Simple® [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.onetouch.ru/products/glucose-meters/onetouch-select-simple>
12. Wifi, Wimax, IR, NFC, Bluetooth, ZigBee – What they do in IOT? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learniot.wordpress.com/2016/04/08/wifi-wimax-ir-nfc-bluetooth-zigbee-what-they-do-in-iot/>

## References

1. Mark W. Friedberg, Peggy G. Chen, Kristin R. Van Busum, Frances Aunon, Chau Pham, John Caloyeras, Soeren Mattke, Emma Pitchforth, Denise D. Quigley, Robert H. Brook, F. Jay Crosson, Michael Tutty. Factors Affecting Physician Professional Satisfaction and Their Implications for Patient Care, Health Systems, and Health Policy [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.rand.org/pubs/RR439.html>
2. Pankratov S. G., Znamenskaya T. Yu. – mobilnyie tehnologii v zdravoohranenii ili (MHEALTH) kontseptsiya i perspektiviyi Chast III Ryinok dlya mobilnyih sistem zdravohraneniya / menedzher zdravohraneniya, 2014, #4, s. 50-66.
3. Diabet 1 tipa [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.glukometr03.ru>
4. Academic Programs - Microsoft Research [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: [http://research.microsoft.com/en-us/collaboration/stories/nui\\_contactlens\\_cs.pdf](http://research.microsoft.com/en-us/collaboration/stories/nui_contactlens_cs.pdf).
5. Neinvazivnyie glyukometri bez zabora krovi (Omelon, Glucotrack): otzyivyi, instruksii [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://diabethelp.org/izmeryaem/neinvazivnyj-glyukometr.html>
6. I. Chaykovskiy, M. Ahmanov. Neinvazivnyiy glyukometr: realnost i nadezhdy [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <https://moidiabet.ru/articles/neinvazivnii-gljukometr-realnost-i-nadejdi-ichaikovskii>
7. 10 gadzhetov, pomogayuschih sledit za zdorovem s pomoschyu smartfona [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <https://geektimes.ru/post/269842/>
8. Medvedev O. V chem raznitsa mezhdru glyukometrami Kontur TS i Kontur Plyus [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.test-poloska.ru/review/contours/>
9. Diacont OK [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://diacont.com.ua/>
10. Analizator krovi EasyTouch® GCHb [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <http://www.glukometry.ru/catalog/easytouch-gchb.html>
11. Glyukometr OneTouch Select Simple® [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <https://www.onetouch.ru/products/glucose-meters/onetouch-select-simple>
12. Wifi, Wimax, IR, NFC, Bluetooth, ZigBee – What they do in IOT? [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: <https://learniot.wordpress.com/2016/04/08/wifi-wimax-ir-nfc-bluetooth-zigbee-what-they-do-in-iot/>

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-ДІАГНОСТИЧНИХ ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ ТА ЗАХИСТУ МЕДИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

*Анотація: в роботі розглянуті перспективи розвитку інформаційно-діагностичних засобів управління та захисту медичного обладнання. Розглянуті питання розробки інформаційно-діагностичних методів управління і захисту блоків медичного обладнання. Наведена математична модель попередження збитків*

*Ключові слова: медичне обладнання, болтове з'єднання, попередження збитків, мережі живлення*

V.YE. KRIVONOSOV, E.L. PIROTTI, A.YU. AZARHOV, L.G. KOVAL, M.V. PALAMARCHUK  
Vinnytsia National Technical University

### PERSPECTIVES FOR DEVELOPMENT OF INFORMATIONAL AND DIAGNOSTIC MEANS OF MANAGEMENT AND PROTECTION OF MEDICAL EQUIPMENT

*Abstract: prospects of development of information-diagnostic means of management and protection of medical equipment are considered in this work. The issues of development of information-diagnostic methods of management and protection of blocks of medical equipment are considered. The mathematical model of damage prevention is presented. Modern diagnostic and therapeutic medical equipment (MO) are complex technical devices that contain electrical elements, mechanical units, electronic and microprocessor blocks, operating on low voltage and high voltage voltages, with a power of 30 kW and above. IO is installed, as a rule, in enclosed areas receiving power supply on separate lines and have independent nodes of relay protection of uninterruptible power supply units. The practice of using imported IM shows that it is very sensitive to the quality of electricity of Ukrainian 2-and 3-phase networks. The quality of electricity (PAYE) is not taken into account in the process of operating the medical equipment, although it is in the delivery of the MI. This results in operational failures and malfunctions caused by unpredictable changes in the network supply voltage parameters. Exit PYAE beyond the norm, established GOST. 13109-97 leads to the complication of finding and troubleshooting the malfunction and its elimination, as well as - to increase financial and time costs. To select and evaluate the effectiveness of the multi-level diagnostic management and protection system of the MO, the authors proposed a multi-level criterial assessment of the choice of the system of protection, in which the main criterion is the mathematical expectation of the set, which consists of the cost of the warnings.*

*Keywords: medical equipment, bolted connection, loss prevention, power supply*

Сучасне діагностичне та терапевтичне медичне обладнання (МО) є складними технічними пристроями, що містять електричні елементи, механічні вузли, електронні та мікропроцесорні блоки, що працюють на низьковольтній і високовольтній напрузі, мають потужність від 30 кВт і вище. Встановлюється МО, як правило, в закритих приміщеннях, що отримують електроживлення по окремих лініях і мають самостійні вузли релейного захисту блоків безперебійного живлення. Практика експлуатації імпортного МО показує, що воно дуже чутливе до якості електроенергії українських 2-х і 3-х фазних мереж. Показник якості електроенергії (ПЯЕ) не враховується в процесі експлуатації медичного обладнання, хоча в умовах поставки МО він є. Це призводить до виникнення експлуатаційних відмов і несправностей, обумовлених непрогнозованими змінами параметрів мережевої напруги живлення. Вихід ПЯЕ за межі норми, встановленої ГОСТ. 13109-97 призводить до ускладнення пошуку та діагностики несправності і її усунення, а також – до збільшення фінансових і часових витрат.

Проведений нами і підтверджений колегами в Україні і за кордоном аналіз виникнення аварійних ситуацій і причин виходу МО з ладу, дозволяє розділити їх на [1]:

- внутрішні пошкодження, які викликані поломкою блоків МО.
- зовнішні пошкодження у вигляді поломок і збоїв в системі електропостачання;
- пошкодження, що виникають всередині МО через відхилення параметрів в системі електропостачання від значень, нормованих по ГОСТ 13109-97.

В теперішній час недостатньо вивчені питання розробки інформаційно-діагностичних методів управління і захисту блоку МО+ система електроживлення. Одним із вдалих прикладів розробки подібного обладнання може слугувати багаторівнева діагностична система управління і захисту МО новизна якої полягає в тому, що блок «МО + мережа живлення» розглядається як єдиний комплекс, який передбачає таку послідовність роботи рівнів захисту:

1. Лікар або оператор дає команду на вхід системи управління МО.
2. Система управління МО перевіряє наявність або відсутність блокування перед підключенням МО до мережі живлення.
3. При відсутності блокування сигнал з командного блоку «Пуск» – «Стоп» подається на вхід мікроконтролера.
4. Мікроконтролер дає команду на включення першого ступеня захисту.

5. Функції першого ступеня захисту: вимірюють рівні лінійних напруг мережі живлення і визначають наявність неповнофазного режиму напруги в мережі. Відсутність аварійних режимів в мережі живлення формує сигнал, який надходить на вхід мікроконтролера.

6. У процесі роботи МО здійснюється моніторинг зміни фронту першої гармонійної складової лінійних напруг мережі і діагностика провалу або неповнофазного режиму в мережі живлення.

7. При нормальному режимі роботи мережі живлення мікроконтролер дає команду на включення в роботу МО, ТТР і другого ступеня захисту. При цьому МО включений в режимі прогріву.

8. Функції другого ступеня – вимір фазних струмів, за величинами яких визначають цілісність струмових ліній.

9. Паралельно МО включають БК – батареї конденсаторів для компенсації реактивної потужності.

10. Здійснюють безперервний моніторинг лінійних напруг коли діагностують провал напруги в одній з лінійних напруг, твердотільні реле (ТТР) розмикають струмовий ланцюг в момент, коли значення фазного струму дорівнює нулю, а енергія, яка закумульована в БК, використовується для плавного зниження рівня напруги на клеммах МО.

11. При досягненні МО встановленого режиму, який визначається для різних вузлів електропостачання величиною постійною нагріву, включається третій ступінь – температурний захист і діагностування причин теплових перевантажень. Функція перетворення засобу для виміру допустимої товщини пилю на поверхні ізоляції, та струмового перевантаження має вигляд;

$$H_{\text{дон}} = f(t_{\text{дам1}}, t_{\text{дам2}} \cdot t_{\text{кр}})$$

12. У сталому тепловому режимі проводиться: діагностування і прогнозування початкового моменту ослаблення болтового з'єднання функція перетворення якого має вигляд  $t_{\text{бз}} = f(t_{\text{ов.ср.}}, I_{\text{наг.}}, t_{\text{ср.б.з.}})$ ; визначення часу досягнення температурою болтового з'єднання критичного значення функція перетворення засобу визначення терміну розвитку аварійної ситуації, який має вигляд:  $t_{\text{бс}} = f(t_{\text{ов.}}, I_{\text{наг.}}, \tau_{\text{б.с.}})$  – це четвертий рівень захисту.

13. За командою «Стоп» мікроконтролер включає п'ятий рівень захисту – контроль величини об'ємного опору ізоляції та визначення виду і товщини пилового покриття поверхні ізоляції. Функція перетворення засобу моделювання розпізнання виду дефекта аварійної ситуації двоступенчата і має вигляд;

Перша ступінь –  $R_{\text{уз.дон}} = f_1(R_i, G_i, R_{\text{дон}}, G_{\text{дон}})$ , в якому визначається природне старіння ізоляції, її зволоження і покриття поверхні ізоляції провідним пилом.

$$\text{Друга ступінь} - R_{\text{уз.дон}} = f_2(f_1, \frac{dG}{dt_i}, \frac{dG}{dt} \text{дон}),$$

дія якого починається після завершення дії першого і закінчується моментом визначення покриття ізоляції непродним пилом.

14. При досягненні контрольованими параметрами критичних значень включається команда «Блокування». Зняття блокування можливе після усунення причин, що призвели до аварійного режиму.

Для вибору і оцінки ефективності роботи багаторівневої діагностичної системи управління і захисту МО авторами запропонована багаторівнева критеріальна оцінка вибору системи захисту, в якій основним критерієм пропонується математичне очікування множини, яка складається із вартості попереджених збитків  $Y = f(y_i)$ ,

Математична модель попереджених збитків  $Y$  має вигляд:

$$Y = \sum_{i=0}^n C_i^n \cap D_i^m \cap B_i^k$$

де – множина  $D$  – фактори впливу на МО, множина  $B$  – засоби та елементи системи захисту.

### Література

1. В. Є. Кривоносів Комплексная защита компьютерных рентгеновских томографов от нестабильности и провалов питающего напряжения / В. Є. Кривоносів, С. М. Злепко, С. В. Павлов, О. Ю. Азархов, Д. М. Барановський // Вісник ХНУ, №5, 2017, с. 192-202

### References

1. V. E. Krivonosov Kompleksnaya zaschita kompyuternyih rentgenovskih tomografov ot nestabilnosti i provalov pitayuschego napryazheniya / V. E. Krivonosov, S. M. Zlepko, S. V. Pavlov, O. Yu. Azarhov, D. M. Baranovsky // Visnik HNU, №5, 2017, s. 192-202

В.С. ВОЙЦЕХОВИЧ<sup>1</sup>, С.В. ПАВЛОВ<sup>2</sup>, Н.Т. ПЕТРАШ<sup>1</sup>,  
Ю.А. ПЕТРУШКО<sup>1</sup>, Н.В. ТИТОВА<sup>2</sup>, В.В. ХОЛИН<sup>1</sup>, О.Н. ЧЕПУРНАЯ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ПМВП «Фотоніка Плюс», м. Черкаси, Україна

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

## МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНАЯ ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ

*Аннотация. Процесс ФДТ многоэтапный или многофазовый и зависит от внутренней насыщенности и протяженности во времени (от долей секунд до десятков суток), а также отличается по кинетике и процессы, насыщающие каждый этап ФДТ. В работе рассматривается повышение эффективности метода фотодинамической терапии на основе разработки лечебно-диагностической установки для опухолевой фотодинамической терапии. При этом вполне обоснованным видится мониторинг параметров компонентов ФДТ в процессе фотодинамического воздействия. Разрабатываемая установка создается на основе сочетания принципов оптического воздействия и оптической диагностики. Установка обеспечивает: оптический контроль кинетики, уровня накопления и контраста накопления ФС в опухолевой зоне; оптический контроль степени оксигенации тканей на всех этапах ФДТ; воздействие на опухоль оптическим излучением с длиной волны, соответствующей пику поглощения применяемого ФС. Итоговый каскад цитотоксических и воспалительных реакций, как и механизм восстановления поврежденных, являются результатом описанных предшествующих этапов или фаз.*

*Ключевые слова: фотодинамическая терапия, фотосенсибилизатор, волоконно-оптический канал, оптическое излучение, плотность мощности, оксигенация, флуоресценция.*

V.S. VOYTSEHOVICH<sup>1</sup>, S.V. PAVLOV<sup>2</sup>, N.T. PETRASH<sup>1</sup>, YU.A. PETRUSHKO<sup>1</sup>, N.V. TITOVA<sup>2</sup>, V.V. KHOLIN<sup>1</sup>,  
O.M. CHEPURNA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> PSE «Photonica Plus», Cherkasy, Ukraine

<sup>2</sup>Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine

## MULTISPECTRAL MEDICAL AND DIAGNOSTIC DEVICE FOR PHOTODYNAMIC THERAPY OF TUMORS

*Annotation. The growth of cancer in the modern world stimulates the search for new progressive approaches to the solution of cancer problems. In modern oncology, methods of minimally invasive treatment that have a selective effect on pathologically altered tissues are becoming increasingly prevalent. Such methods of treatment of malignant tumors include the method of photodynamic therapy (PDT). The process of PDT is multi-stage or multi-phase and depends on internal saturation and extent in time (from fractions of a second to tens of days), and also differs in kinetics and processes that saturate each stage of PDT. In this work, the efficiency of the photodynamic therapy method is considered on the basis of the development of a medical diagnostic facility for tumor photodynamic therapy. At the same time, it seems reasonable to monitor the parameters of the PDT components in the process of photodynamic action. The system being developed is created on the basis of a combination of the principles of optical action and optical diagnostics. The device provides: optical control of the kinetics, level of accumulation and contrast of accumulation of PS in the tumor zone; optical control of the degree of tissue oxygenation at all stages of PDT; the effect on the tumor by optical radiation with a wavelength corresponding to the absorption peak of the applied FS. Optical radiation from laser emitters to the tumor zone is transmitted by means of optical fibers (OB). In the same way, fluorescence radiation and inverse diffuse reflected radiation are also delivered to the photodetectors. The hardware ends of all OBs are designed in the form of plugs for unified optical connectors, which provide detachable connection to standard outlets of laser emitters and photodetectors. The length of optical fibers is superimposed mainly on operational limitations. Typically - a few meters, sufficient to remove the block part of the installation from the area of exposure to PDT. The resulting cascade of cytotoxic and inflammatory reactions, as well as the mechanism of damage repair, are the result of the described previous stages or phases.*

*Key words: photodynamic therapy, photosensitizer, fiber-optic channel, optical radiation, power density, oxygenation, fluorescence.*

### Актуальность.

Рост раковых заболеваний в современном мире стимулирует поиск новых прогрессивных подходов к решению онкологических проблем. В современной онкологии все большее распространение получают методы малоинвазивного лечения, которые имеют селективное действие на патологически измененные ткани. К таким методам лечения злокачественных опухолей можно отнести метод фотодинамической терапии (ФДТ). Процедура ФДТ заключается в следующем: после введения фоточувствительного вещества - фотосенсибилизатора (ФС), который избирательно накапливается в опухолевых тканях, проводится их облучения оптическим (чаще всего лазерным) излучением с длиной волны, соответствующей пику поглощения ФС. Одной из главных особенностей метода является возможность совмещения диагностики и лечения онкологических заболеваний в пределах одной процедуры.

### Метод

В основе фотодинамической терапии (ФДТ) лежит явление усиления цитотоксичности фоточувствительных веществ (фотосенсибилизаторов) под воздействием излучения оптического диапазона [1-3]. Фотодинамическая терапия – это комплексный многокомпонентный метод. Каждый компонент ФДТ

занимает свое место и выполняет свою функцию. Отдельные параметры компонентов ФДТ могут изменяться в широком динамическом диапазоне. В случае отсутствия какого либо компонента ФДТ либо неоптимальных параметров компонента ожидаемый эффект фотодинамической терапии не достигается.

Процесс ФДТ многоэтапный или многофазовый и зависит от внутренней насыщенности и протяженности во времени (от долей секунд до десятков суток), а также отличается по кинетике и процессы, насыщающие каждый этап ФДТ. При этом вполне обоснованным видится мониторинг параметров компонентов ФДТ в процессе фотодинамического воздействия.

Общая эффективность лечением методом ФДТ достигает 90-95%, в том числе полная резорбция опухолей 55-60%. Плотность мощности, которая попадает в зону опухоли должна соответствовать общим требованиям эффективного проведения ФДТ (от 300 мВт/см<sup>2</sup>). Однако, в случае облучения опухолей большого размера, возникает необходимость увеличения мощности лазера. С увеличением мощности в свою очередь растут энергетические затраты и стоимость прибора.

**Цель работы.** Повышение эффективности метода фотодинамической терапии на основе разработки лечебно-диагностической установки для опухолевой фотодинамической терапии.

### Материалы и практическая реализация.

Разрабатываемая установка создается на основе сочетания принципов оптического воздействия и оптической диагностики. Установка обеспечивает:

- оптический контроль кинетики, уровня накопления и контраста накопления ФС в опухолевой зоне,
- оптический контроль степени оксигинации тканей на всех этапах ФДТ,
- воздействие на опухоль оптическим излучением с длиной волны, соответствующей пику поглощения применяемого ФС.

Функциональная схема разрабатываемой установки приведена на рис.1 в основе которой реализованы новые критерии реализации оптического, процессорного и волоконно-оптического блоков.

Оптический блок установки состоит из 4 лазерных излучателей (ЛИ) и 4 фотоприемников (ФП). Излучатель ЛИ1 с длиной волны излучения соответствующей пику поглощения используемого ФС стимулирует фотодинамическую реакцию. Излучатель ЛИ2 с длиной волны излучения в пределах полосы Соре (405-410 нм) предназначен для возбуждения флуоресценции ФС. Излучатели ЛИ3 и ЛИ4 обеспечивают контроль степени оксигинации тканей в зоне опухоли.

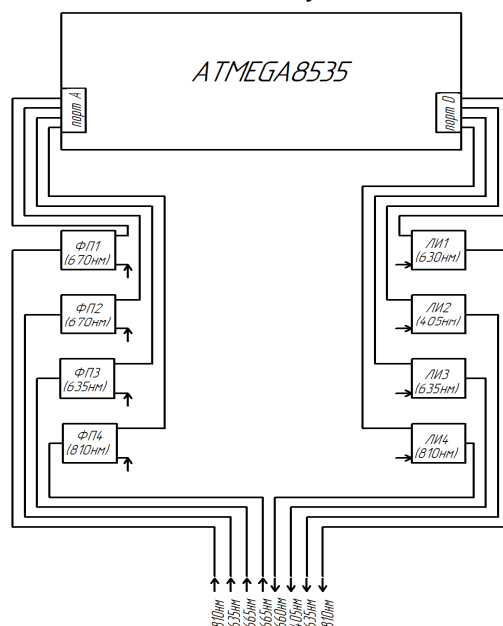


Рис1. Функциональная схема разрабатываемой установки

Приемники ФП1 и ФП2 регистрируют излучение флуоресценции опухолевого и смежного с ним участка биологической зоны соответственно. Приемники ФП3 и ФП4 регистрируют обратное диффузное отраженное опухолевой тканью излучение [ ].

Управление процессами диагностики и воздействия при ФДТ в установке осуществляется с помощью микроконтроллера. Используется микроконтроллер семейства Mega фирмы Microchip Technology ATMEGA 8535. Он изготавливается по малопотребляющей КМОП-технологии, которая в сочетании с усовершенствованной RISC-архитектурой позволяет достичь лучшего соотношения быстродействия/энергопотребление. Процессор имеет аналоговый порт А с 8 независимыми входами, на которые приходят сигналы от фотоприемников ФП. Лазерные излучатели управляются обработанными микроконтроллером сигналами через порт D [1-4, 7].



Оптическое излучение от лазерных излучателей к зоне опухоли передается с помощью оптических волокон (ОВ). Таким же способом доставляется к фотоприемникам и излучение флуоресценции и обратное диффузное отраженное излучение. Аппаратные концы всех ОВ оформлены в виде вилок унифицированных оптических соединителей, обеспечивающих разъемное подключение к штатным розеткам лазерных излучателей и фотоприемников. На длину оптических волокон накладываются в основном эксплуатационные ограничения. Как правило – это несколько метров, достаточных для удаления блочной части установки от зоны воздействия при ФДТ. На определенном расстоянии от ЛИ и ФП отдельные волокна объединяются в упаковку, “одеваются” в защитную оболочку, иными словами оформляются в виде многоволоконного оптического кабеля. На выходном (дистальном) конце волокна организовываются в пространстве в соответствие с рис.2.

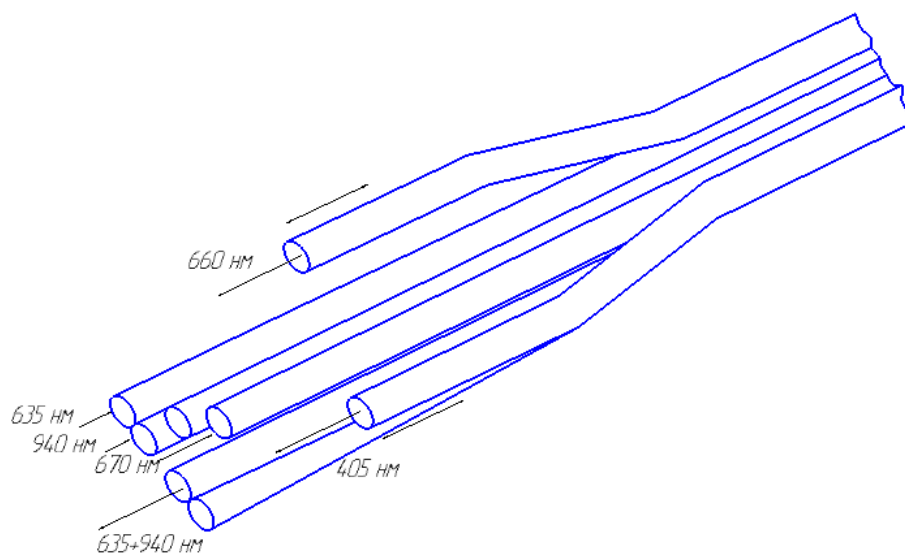


Рис.2. Реализация волоконно-оптического блока

Временные диаграммы одного из возможных вариантов функционирования установки, адаптированной под ФС хлоринового ряда «Фотолон», приведены на рис.3

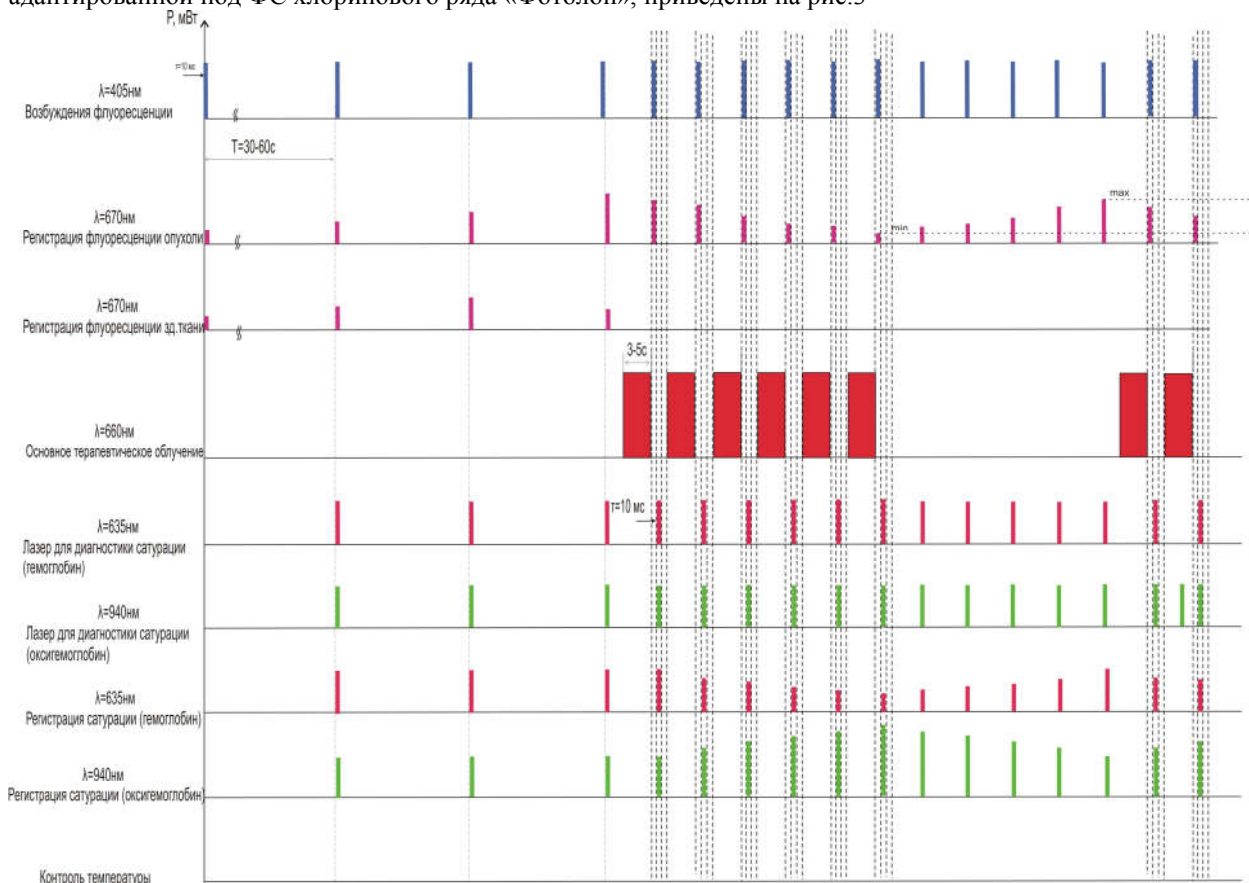


Рис.3 Временные диаграммы одного из возможных вариантов функционирования установки

### Методика исследования.

При этом предлагается следующий порядок работы.

Через некоторое время после начала внутривенного введения ФС (10-30 мин. в зависимости от типа, размеров и локализации опухоли и т.п.) совмещают дистальный конец волоконно-оптического блока (оптического кабеля) с патологической зоной. ЛИ2 и ЛИ1 включают в непрерывном слабоинтенсивном режиме пилотирования. Путем перемещения дистального конца оптического кабеля и отдельных оптических волокон от ЛИ1 и ЛИ2 относительно опухолевой зоны, обеспечивают вписывание последней в световое пятно ЛИ1 с минимальным запасом по диаметру. Вписывание опухолевой зоны в световое пятно лазерного излучателя ЛИ2 выполняется с большим диаметром, достаточным для попадания оптического волокна к ФП2 на смежный с опухолью участок здоровой ткани.

После завершения процесса совмещения дистального конца оптического кабеля с опухолевой зоной на микроконтроллер поступает команда о начале управляемого оптического воздействия. От ЛИ2 на опухоль через предварительно сориентированное оптическое волокно попадает излучение возбуждения флуоресценции (длина волны 405 нм, длительность 10-20 мс, период повторения 30-60 с). Через оптические волокна излучение флуоресценции опухолевой зоны и смежного участка здоровой ткани приходят на входы ФП1 и ФП2, а после оптоэлектронного преобразования и предварительного усиления – на аналоговый вход микроконтроллера.

С небольшим интервалом после завершения воздействия ЛИ2 с той же длительностью и периодом повторения включаются (одновременно либо с небольшим сдвигом по времени) ЛИ3 и ЛИ4. Лазерный излучатель ЛИ1, запускающий фотодинамическую реакцию, включается процессором при условии прекращения роста сигнала от ФП1 и максимального соотношения сигналов ФП1 и ФП2. ЛИ1 воздействует на опухолевую зону с соответствующей эффективной фотодинамической реакции плотностью мощности. Время излучения – 3-5 с. После выключения ЛИ1 процессор последовательно включает ЛИ2, ЛИ3 и ЛИ4.

### Выводы.

Таким образом, на основе данных рекомендаций можно спрогнозировать решение технических задач реализации фотоприемников (прежде всего для контроля степени оксигинации тканей) в предлагаемой установке. Вместе с тем, достаточное быстродействие, конструктивная и системная трансформируемость (усечение или расширение), возможность и покаскадной, и комплексной оптимизации, делают мультиспектральную лечебно-диагностическую установку для фотодинамической терапии опухолей инвестиционно, технически, функционально и инвестиционно привлекательной.

### Литература

1. Ispolzovanie spertroskopii obratnogo diffuznogo otrazhenia sveta dlya monitoring sostoyania tkaney pro photodynamicheskoi terapii / [A.A. Stratonnikov, G.A. Meerovich, A.V. Ryabova.]. // *Kvantovaya electronica*. – 2006. – №36 (12). – 1103 p.
2. Doslidzhennya ta rozrobka novikh metodiv sodержaniya fotodinamichnoy terapii z vikoristannyam laser viprominyuvannya / S.V. Pavlov, S.E. Tuzhansky, V.V. Holin, O.M. Chepurna, V.S. Wojciechowicz, O.S. Камінський, A.M. Sakhno, V.D. Popov, S.O. Magdebourg, I.O. Shtone, M.F. Gamaliya // *Photobiological. Photomed.* - 2014. - №1-2. - P. 101-104. - ISSN 2076-0612.
3. *Photodynamicheskaya terapia / pod red. M.P. Goldmana; red. Serii Dz. S. Douver pri uchastii M. Alama; per. S angl. pod obshei red. Vassarionova.* – М.: ООО «Rid Elsiver», 2010. - 196 с.
4. *Photodynamicheskaya terapia. Photolonmiopicheskoy makulopatii/ [A. A. Dalidovich, L.N. Marchenko, A.S. Fedulov I dr.].* – Minsk: Paradoks, 2012. – 224 s.
5. *Photon - a new means for photodynamic therapy / T. V. Truhacheva, S. V. Shlyakhtin, G. A. Isakov, Yu. P. Istomin.* - Minsk: RUE "Belmedpreparaty", 2009. - 64 p.
6. *Eksperimentalnie I klinicheskie aspekti photodynamicheskoy terapii: materialy nauchno-practicheskogo seminaru.* – Cherkasy, vertikal, 2013.-128 s.
7. Vladimir V. Kholin, Oksana M. Chepurna, Sergii Pavlov et al. Methods and fiber optics spectrometry system for control of photosensitizer in tissue during photodynamic therapy, *Proc. SPIE* 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016, 1003138 (September 28, 2016).
8. Ronald Rovira; Marcia M. Bayas; Sergey V. Pavlov; Tatiana I. Kozlovskaya; Piotr Kisała, et al. Application of a modified evolutionary algorithm for the optimization of data acquisition to improve the accuracy of a video-polarimetric system, *Proc. SPIE* 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 981619 (December 18, 2015)
9. Oksana Chepurna; Irina Shton; Vladimir Kholin; Valerii Voytsehovich; Viacheslav Popov, et al. Photodynamic therapy with laser scanning mode of tumor irradiation, *Proc. SPIE* 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 98161F (December 18, 2015); doi:10.1117/12.2229030
10. Methods of Processing Video Polarimetry Information Based on Least-Squares and Fourier Analysis // RH Rovira, SV Pavlov, OS Kaminski, MM Bayas - Middle-East Journal of Scientific Research, T. 16 (9), 1201-1204 2013. – P.1201-1204.

**КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ СТАТИСТИЧНИХ ТА КОРЕЛЯЦІЙНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК СПЕКЛ-ІНТЕРФЕРОГРАМ**

*Для дослідження взаємодії електромагнітного випромінювання з еритроцитами крові людини було обрано метод спекл – інтерферометрії. В ході проведеного експерименту знято дві спекл – інтерферограми від двох зразків крові людини. Розроблена комп'ютерна модель для аналізу статистичних та кореляційних характеристик отриманих в ході експерименту, спекл – інтерферограм. Даний комп'ютерний алгоритм дозволяє обробляти спекл – інтерферограми і порівнювати їх між собою по отриманим статистичним та кореляційним характеристикам.*

*При освітленні високо когерентним пучком великої області оптично дуже шорсткої поверхні формується так звана нормально – розвинена спекл – картина. Її статистичні властивості не залежать від детальних характеристик мікрорельєфу поверхні. Зображення відбиваючого (проникаючого) об'єкта представляє складну гранулярну структуру, що не має явного зв'язку з мікроскопічними властивостями об'єкта, що освітлюється. Більшість, поверхнею, що відбивають (пропускають) екстремально шорсткі відносно довжини хвилі випромінювання. Можна рахувати, що основний вклад в розсіювання світла вносять малі ділянки поверхні з центрами в точках, що дзеркально відбиваються. Зі збільшенням крутизни шорсткості і величини області, що освітлюється число точок випромінювання зростає. Відбита від такої площини хвиля складається з вкладів від великого числа малих ділянок поверхні, які можна рахувати незалежними розсіювальними областями.*

**Ключові слова:** еритроцити крові людини, метод спекл – інтерферометрії, комп'ютерна модель.

M.F. BOGOMOLOV, J.Y. REUTSKAYA

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

A.A. TROTS

National university of life and environmental sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**COMPUTER MODEL OF STATISTICAL AND CORRELATION CHARACTERISTICS SPECKLE  
INTERFEROGRAM**

*To study the interaction of electromagnetic radiation with human red blood cells, the speckle-interferometry method was chosen.*

*In the course of the experiment, two speckle interferograms from two human blood samples were taken. A computer model was developed for the analysis of statistical and correlation characteristics obtained during the experiment, speckle - interferogram. This computer algorithm allows processing speckle - interferograms and compares them among themselves based on the obtained statistical and correlation characteristics.*

*When illuminated by a highly coherent beam of a large region of an optically very rough surface, a so-called normally formed - speckle is developed - a picture. Its statistical properties do not depend on the detailed characteristics of the microrelief of the surface. The image of the reflecting (penetrating) object represents a complex granular structure that has no explicit relation with the microscopic properties of the illuminated object. Most, reflecting surfaces (pass) are extremely rough relative to the wavelength of radiation. It can be assumed that the main contribution to the light scattering is to make small surfaces of the surface with centers at mirroring points. With increasing steepness of roughness and magnitude of the region, the number of radiation points increases. A reflection from such a plane wave consists of deposits from a large number of small areas of the surface, which can be considered independent scattering regions.*

**.Keywords:** human red blood cells, the method of speckle - interferometry, computer model.

При освітленні високо когерентним пучком великої області оптично дуже шорсткої поверхні формується так звана нормально – розвинена спекл – картина. Її статистичні властивості не залежать від детальних характеристик мікрорельєфу поверхні. Зображення відбиваючого (проникаючого) об'єкта представляє складну гранулярну структуру, що не має явного зв'язку з мікроскопічними властивостями об'єкта, що освітлюється [1]. Більшість, поверхнею, що відбивають (пропускають) екстремально шорсткі відносно довжини хвилі випромінювання. Можна рахувати, що основний вклад в розсіювання світла вносять малі ділянки поверхні з центрами в точках, що дзеркально відбиваються. Зі збільшенням крутизни шорсткості і величини області, що освітлюється число точок випромінювання зростає. Відбита від такої площини хвиля складається з вкладів від великого числа малих ділянок поверхні, які можна рахувати незалежними розсіювальними областями[2,3].

Поширення відбитого (пройденного) випромінювання до області спостереження призводить до того, що в заданій точці спостереження складаються розсіяні компоненти – кожна зі своєю затримкою. Інтерференція цих дефазованих, але когерентних хвиль, призводить до гранулярної спекл – картини. Іншими словами, спекли – це інтерференційна картина нерегулярних хвильових фронтів, що виникають при падінні когерентного випромінювання на сильно шорстку поверхню.

## 1. Об'єктивні і суб'єктивні спекли

Розрізняють об'єктивні і суб'єктивні спекли. Об'єктивна спекл – картина формується у всьому просторі перед поверхнею, що освітлюється. Суб'єктивна спекл – картина виникає при відображенні розсіювальної поверхні на екран за допомогою оптичної системи. Об'єктивну спекл – картину можна зареєструвати, якщо в площині спостереження розмістити фотоплівку і засвітити її спекловою картиною. Але якщо сфотографувати цю ж картину за допомогою фотоапарата, то на фотоплівці отримаємо суб'єктивну картину так як її параметри будуть вже залежати від об'єктиву фотоапарата[4].

## 2. Комп'ютерна модель обробки спекл-інтерферограм

Була створена комп'ютерна модель для обробки спекл – інтерферограм в середовищі Matlab. У зв'язку з програмним обмеженням по обробці даних цієї програми, отримані інтерферограми були стиснуті до розмірів 262 x 197 пікселів, розширення зображень 72 x 72 точок на дюйм, формат зображень – JPEG.

На рис. 1. зображена структурна схема комп'ютерної моделі. Принцип дії її наступний – спершу з отриманої спекл – інтерферограми зчитуються значення кожного з пікселів та записуються в трьохмірний масив даних формату uint8, за це відповідає блок (1). Розмірність масиву: 262 x 197 x 3, де 262 x 197 – кількість пікселів, а 3 – складові кольору формату RGB (red, green, blue). Кожен піксель має власне значення інтенсивності світла від 0 до 255. Блок (2) відповідає за перетворення записаного масиву формату uint8 в інші типи даних для подальшої статистичної обробки даних в блоці (3). (4) і (5) блоки відповідно відображають результат обробки спекл – інтерферограм у графічному вигляді та представленням у масивах даних відповідно.



Рис.1. Структурна схема комп'ютерної моделі обробки спекл – інтерферограм

### Крок 1. Зчитування даних із зображення

Зчитуємо зображення в форматі jpeg за допомогою команди :

```
I = imread('spec_1.jpg');
```

### Крок 2. Оцінка і апроксимація пікселів фону

Зображення, що розглядається характеризується нерівномірною засвіткою фону по полю зображення. Тому спершу за допомогою операції морфологічного розкриття оцінимо інтенсивність фону. При виконанні операції морфологічного розкриття використовується структурний елемент.

Використаємо функцію `imopen`, яка виконує морфологічне розкриття, тобто спочатку звуження, а потім розширення зображення, метою даної операції є вилучити виступи на межах об'єктів, тобто зробити більш чіткі границі об'єктів. В якості структурного елемента використаємо функцію `strel` у вигляді диска з радіусом 15.

```
background = imopen(I, strel('disk', 15));  
figure, imshow(background)
```

### Крок 3. Апроксимація і перегляд поверхні фону

Використовуємо команду `surf` для відображення поверхні фону. За допомогою команди `surf` створюється кольорова параметрична поверхня, яка дає можливість переглядати прямокутну область, зображення що досліджується. Функція `surf` працює з даними, що представлені в форматі `double`. Тому, отриманий масив необхідно перевести у відповідний формат даних. Запишемо наступне:

```
figure, surf(double(background(1:8:end, 1:8:end))), zlim([0 255]);
```

### Крок 4. Створення зображення з рівномірним фоном

Для створення зображення з більш рівномірним фоном, віднімемо зображення фону `background` від вихідного зображення `I`.

---

$I2 = \text{imsubtract}(I, \text{background});$

#### **Крок 5. Створення бінарного зображення**

Використаємо функцію `graythresh`, яка визначає значення глобального порога, що використовується для перетворення інтенсивностей зображення в бінарне зображення в функції `im2bw`. Значення нормалізованих інтенсивностей знаходяться в діапазоні  $0 \dots 1$ .

```
level = graythresh(I2)
bw = im2bw(I2, level)
```

#### **Крок 6. Визначення числа об'єктів (спеклів) на зображенні**

Для цього використовуємо функцію `bwlabel(Bw, n)`, що відмічає всі компоненти на бінарному зображенні і повертає їх число у вигляді значення `numObjects`, де `Bw` – бінарне зображення, `n` – параметр, що вказує критерій зв'язаності, що використовується для знаходження зв'язаних областей – об'єктів.

```
[labeled, numObjects] = bwlabel(bw, 4)
numObjects
```

#### **Крок 7. Отримання статистичних даних зображення**

Для статистичної обробки зображення, спершу переведемо RGB зображення в напівтонне зображення за допомогою функції `rgb2gray`. Дана функція створює напівтонне зображення, перетворюючи при цьому  $R - G - B$  – складові пікселів кольорового зображення в відповідні їм значення яскравості.

```
I = rgb2gray(I)
```

#### **Висновки:**

- Як видно з 3 – D поверхонь фону інтерферограм 1 – та 2 – го зразків, найвищу інтенсивність мають пікселі  $R$  – складової, це зумовлено тим що досліджувані інтерферограми були отримані за допомогою  $He - Ne$  лазера «ЛГ – 38», в якого робоча довжина хвилі лежить в червоному спектрі.
- Кількість спеклів на інтерферограмах була оцінена приблизно, оскільки точно дослідити її дуже складно. Але цей метод обрахунку можна використовувати для порівняння кількох зразків інтерферограм, беручи одну за еталонну, а інші порівнювати з еталонною. Як показали обрахунки на 1 – зразку майже на 60% більше спеклів ніж на 2 – му.
- Середня інтенсивність випромінювання обох зразків істотно не розбігається, лиш на 12% інтенсивність випромінювання 2 – зразка вища за 1 – й.
- Середнє квадратичне відхилення вийшло достатньо високим, але зважаючи на те що кількість градацій тону дорівнює 256, це значення було очікуваним. Середнє квадратичне відхилення першого зразка склало 27,94 умовних одиниць, а 2 – го зразка – 24,94 умовних одиниць.
- Розподіл кількості пікселів по їх інтенсивності, показав для обох зразків, що найбільша кількість пікселів лежить в діапазоні 40 – 70 їх інтенсивності.
- Коефіцієнт кореляції між вдова спекл – картинами, склав 0,44 умовні одиниці, що дозволяє стверджувати про помірний зв'язок між двома досліджуваними зразками.

#### **Література**

1. Приезжев А. В., Тучин В.В., Шубочкин Л.П. Лазерная диагностика в биологии и медицине.— М.: Наука, 1989.
2. Берлиен Х.Б., Мюлер Г.Й. Прикладная лазерная медицина.— М.: АО «Интерексперт», 1997. – С.356.
3. Новые физические методы в биологических исследованиях.— М.: Наука, 2007. С. 65—79.
4. Франсон М. Оптика спеклов / Пер. с англ. под. ред. Ю.И. Островского. М.: Мир, 1980. 171с.

#### **References**

1. Priezzhev A. V., Tuchin V.V., Shubochkin L.P. Lazernaya diagnostika v biologii i meditsine.— М.: Nauka, 1989.
2. Berlien H.B., Myuler G.Y. Prikladnaya lazerna meditsina.— М.: АО «Интерексперт», 1997. – S.356.
3. Novyye fizicheskie metody v biologicheskikh issledovaniyah.— М.: Nauka, 2007. S. 65—79.
4. Franson M. Optika speklov / Per. s angl. pod. red. Yu.I. Ostrovskogo. М.: Mir, 1980. 171s

Я.В. НОСОВА, О.Г. АВРУНИН  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
nyav007@gmail.com

## ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБОНЯТЕЛЬНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОЛЬФАКТОМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

*Предложен интегральный показатель оценки обонятельной чувствительности на основе метода экспертных оценок (метод приписывания баллов).*

**Ключевые слова:** ольфактометрия, чувствительность обонятельная, системы экспертные, одоривектор

Ya. V.NOSOVA, O.G. AVRUNIN  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
nyav007@gmail.com

### FORMALIZATION OF OLFACTORY SENSITIVITY WITH SUPPORT FOR DECISION-MAKING FOR OLFACTOMETRIC DIAGNOSIS

**Annotation.** *There are many methods for assessing olfactory disorders, among them the most popular are Sniffing sticks test, University of Pennsylvania Smell Identification Test and others, but the main difference is the number of odorivectors used, which makes it difficult to formalize the olfactory disorders. Therefore, it seems reasonable to propose an integral criterion for assessing olfactory disorders. The choice of odorivators in olfactory tests is also due to the geographical factor: olfactory stimuli should be easily identifiable by the subject. Another aspect for effective olfactometric research is the use of objective means of measurement, the lack of objectivity is a drawback of the most popular tests. In view of the foregoing, it seems necessary to develop an integral index of olfactory sensitivity on the basis of a method for increasing the objectivity of olfactometric studies, through which objective studies of respiratory-olfactory disorders can be performed and it completely meets the requirements.*

*It is necessary to perform the determination of the importance of selected particular indicators (the degree of sensation of odorivectors), in other words, the weights used in integral functions. One of the most common methods of determining weighting coefficients is the method of expert assessments (attribution of points). Unlike the ranking method, experts here place scores from 0 to 10 depending on the importance of the indicator, and it is allowed to estimate the importance of the indicator with fractional values, and the same scores can be assigned to different indicators. Experts of otorhinolaryngologists were offered questionnaires, where it was suggested to put points from 1 to 10 in terms of the importance of using odorivectors (tincture of valerian, acetic acid, ammonia) to detect olfactory disorders. Where 1 point is not important, 5 is of medium importance, 10 is very important. The weighting factors (by the method of attribution of scores) of the sensation of three odorivectors were determined by the method of increasing the objectivity of olfactometric studies to determine the integral index of olfactory sensitivity with the support of decision making for olfactometric diagnosis.*

**Keywords:** olfactometry, sensitivity olfactory, expert systems, odorivector,

Неопределенность в медицинской практике становится большой проблемой на пути к постановке точного диагноза, так как мешает выбрать лучшее решение, и, следовательно, может стать причиной некачественного ответа [1]. Существуют различные подходы создания медицинских систем диагностики, например, экспертные системы, которые занимаются решением неформализованных задач, требующих нестандартного подхода. Одной из сложнейших неформализуемых задач медицинской диагностики является ольфактометрическое исследование.

Существует множество методов оценки обонятельных нарушений, среди них наиболее популярны Sniffing sticks test, University of Pennsylvania Smell Identification Test (UPSIT) и другие [2], однако главным их различием является количество используемых одоривекторов, что затрудняет формализацию обонятельных нарушений. Поэтому представляется целесообразным предложить интегральный критерий оценки обонятельных нарушений. Выбор одоривекторов в обонятельных тестах также обусловлен географическим фактором: обонятельные стимулы должны быть легкоузнаваемыми обследуемым. Еще одним аспектом для эффективного ольфактометрического исследования является применение объективных средств измерения, отсутствие объективности является недостатком самых популярных тестов (UPSIT, Sniffing sticks test и др.).

Учитывая вышеизложенное, представляется необходимым разработать интегральный показатель обонятельной чувствительности с целью формализации диагностических данных при разработке систем поддержки принятия решений на основе способа повышения объективности ольфактометрических исследований [3-4], с помощью которого можно выполнять объективные исследования дыхательно-обонятельных нарушений и он полностью удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Необходимо выполнить определение важности отобранных частных показателей (степень ощущения одоривекторов), другими словами, весовых коэффициентов, используемых в интегральных функциях. Одним из самых распространённых способов определения весовых коэффициентов является метод экспертных оценок (приписывания баллов). В отличие от метода ранжирования здесь эксперты в зависимости от важности показателя выставляют баллы от 0 до 10, причем разрешается оценивать важность

показателя дробными величинами, а также разным показателям можно приписать одинаковые баллы. Экспертам оториноларингологам были предложены опросники, где предлагалось проставить баллы от 1 до 10 по степени важности применения одоривекторов (1 – настойка валерьяны, 2 – уксусная кислота, 3 – нашатырный спирт) для выявления обонятельных нарушений. Где 1 балл – не важен, 5 – средней важности, 10 – очень важен. Затем определяли вес каждого показателя  $r_{ij}$ , подсчитанного каждым экспертом.

Согласно методу приписывания баллов [5]:

$$r_{ij} = \frac{n_{ij}}{\sum_{j=1}^m h_{ij}},$$

где  $r_{ij}$  – вес  $j$ -го показателя, определённый  $i$ -м экспертом,  $h_{ij}$  – балл  $i$ -го эксперта, выставленный  $j$ -му показателю,  $m$  – количество показателей. Окончательно весовые коэффициенты показателей определяются по формуле:

$$w_j = \frac{\sum_{i=1}^n r_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n r_{ij}},$$

где  $n$  – число экспертов.

Таблица 1 – Определение весовых коэффициентов методом приписывания баллов

Эксперты	Баллы показателей			сумма	Веса показателей		
	$n_{i1}$	$n_{i2}$	$n_{i3}$		$r_{i1}$	$r_{i2}$	$r_{i3}$
1	10	10	5	25	0,400	0,400	0,200
2	10	8	0	18	0,556	0,444	0,000
3	10	5	0	15	0,667	0,333	0,000
4	9	3	1	13	0,692	0,231	0,077
5	10	2	0	12	0,833	0,167	0,000
6	10	3	1	14	0,714	0,214	0,071
7	10	1	0	11	0,909	0,091	0,000
8	9	5	1	15	0,600	0,333	0,067
9	10	7	1	18	0,556	0,389	0,056
				сумма	5,927	2,603	0,471

Весовые коэффициенты примут следующие значения:

$$w_1 = \frac{5,927}{9} = 0,659,$$

$$w_2 = \frac{2,603}{9} = 0,289,$$

$$w_3 = \frac{0,471}{9} = 0,052$$

Маленькое значение весового коэффициента одоривектора 3 (нашатырный спирт)  $w_3 = 0,052$  не означает, что данный показатель не должен участвовать в интегральной оценке обонятельной чувствительности. Нашатырный спирт информативен только тогда, когда отсутствуют показатели при исследовании на настойку валерьяны и уксусной кислоты, то есть при anosмии, но при этом обонятельно-вкусовая чувствительность остается функционирующей.

---

Таким образом, определены весовые коэффициенты (методом приписывания баллов) ощущения трех одоривекторов по способу повышения объективности ольфактометрических исследований для определения интегрального показателя обонятельной чувствительности при поддержке принятия решений для ольфактометрической диагностики.

### Література

1. Гончарова А.Б. Система поддержки принятия решений в медицине для диагностики заболеваний / А.Б. Гончарова, Е.И.Сергеева // *Инновации в науке: научный журнал*. – № 1(62). – Новосибирск., Изд. АНС «СибАК», 2017. – С. 23-25.
2. Olfactometry diagnostic at the modern stage / O. Avrunin, N. Shushlyapina, Y. Nosova, O. Bogdan // *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Серія : Нові рішення в сучасних технологіях*. - 2016. - № 12. - С. 95-100.
3. Nosova Ya. The use of statistical characteristics of measured signals to increasing the reliability of the rhinomanometric diagnosis "/ Ya. Nosova, N. Shushliapina, S. V. Kostishyn, L. G. Koval, Z. Omiotek, et al. // *Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*. – 2016. – 100312M – doi:10.1117/12.2248364
4. Спосіб підвищення об'єктивності ольфактометричних досліджень: пат. 110453 С2 Україна: МПК А61В 5/08(2006.01) / Аврунін О.Г., Журавльов А.С., Шушляпіна Н.О., Носова Я.В., Фарук Х., заявник та патентовласник Харківський національний університет радіоелектроніки. - №а201500604 ; заявл. 26.01.2015 ; опубл. 25.05.2015, Бюл.№10 – 2с.
5. Макарова И. Л. Анализ методов определения весовых коэффициентов в интегральном показателе общественного здоровья / И. Л. Макарова // *Международный научный журнал «Символ науки»*. – 2015. – №7. – с.87-94

### References

1. Goncharova A.B. Sistema podderzhki prinyatiya resheniy v meditsine dlya diagnostiki zabolevaniy / A.B. Goncharova, Ye.I.Sergeyeva // *Innovatsii v nauke: nauchnyy zhurnal*. – № 1(62). – Novosibirsk., Izd. ANS «SibAK», 2017. – S. 23-25.
2. Olfactometry diagnostic at the modern stage / O. Avrunin, N. Shushlyapina, Y. Nosova, O. Bogdan // *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu "Kharkivs'kyi politekhnichnyy instytut". Seriya : Novi rishennya v suchasnykh tekhnolohiyakh*. - 2016. - № 12. - S. 95-100.
3. Nosova Ya. The use of statistical characteristics of measured signals to increasing the reliability of the rhinomanometric diagnosis "/ Ya. Nosova, N. Shushliapina, S. V. Kostishyn, L. G. Koval, Z. Omiotek, et al. // *Proc. SPIE 10031, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*. – 2016. – 100312M – doi:10.1117/12.2248364
4. Sposib pidvyshchennya ob'yektyvnosti ol'faktometrychnykh doslidzhen': pat. 110453 S2 Ukrayina: MPK A61V 5/08(2006.01) / Avrunin O.H., Zhuravl'ov A.S., Shushlyapina N.O., Nosova YA.V., Faruk KH., zayavnyk ta patentovlasnyk Kharkivs'kyi natsional'nyy universytet radioelektroniky. - №a201500604 ; zayavl. 26.01.2015 ; opubl. 25.05.2015, Byul.№10 – 2s.
5. Makarova Y. L. Analyz metodov opredelenyya vesovykh koefytsyentov v yntehral'nom pokazatele obshchestvennoho zdorov'ya // *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal «Symvol nauky»*. – 2015. – №7. – s.87-94



## МЕТОДИКА ЗАСТОСУВАННЯ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ ДЛЯ ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ОРГАНІЗМУ ЛЮДИНИ

*Представлено методику застосування вейвлет-аналізу для оцінки функціонального стану організму людини з застосуванням сучасних безпроводних медичних гаджетів.*

*Об'єктивна оцінка роботи серця є інтегративною характеристикою, що дозволяє комплексно та системно оцінити функціональний стан здоров'я людини в цілому. Аналіз варіабельності серцевого ритму - це технологія вивчення і оцінки вегетативної регуляції фізіологічних функцій, що пов'язана з використанням програмно-апаратних комплексів, які повинні забезпечити надійне зняття інформації, надійне розпізнавання та вимірювання кардіоінтервалів з побудовою тимчасових динамічних рядів і застосування до них стандартизованих математичних процедур аналізу. В даний час актуальною є розробка прогностичних моделей на основі оцінки поточного функціонального стану організму за допомогою автоматизованих комплексів для аналізу та візуалізації RR-інтервального ряду.*

*Ключові слова: вейвлет-аналіз, кардіоінтервалографія, ритмограма, спектральний аналіз.*

IGOR KHUDETSKYI, JULIA ANTONOVA-RAFI, ANASTASIA SHEVCHUK  
 National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", UKRAINE, Kyiv  
 igorkhudetsky@gmail.com

## APPLICATION OF WAVELET ANALYSIS METHOD TO ASSESS THE FUNCTIONAL STATE OF THE HUMAN BODY

*An objective evaluation of the heart's work by an integrative characteristic that allows a complex and systemic assessment of the functional state of human health as a whole. The analysis of heart rate variability is a technology for studying and evaluating the vegetative regulation of physiological functions associated with the use of software and hardware complexes that must provide reliable information retrieval, reliable recognition and measurement of cardio intervals with the construction of temporary dynamic series and the application of standardized mathematical analysis procedures to them. At present, development of prognostic models based on the evaluation of the current functional state of the organism using automated complexes for analysis and visualization of the RR-interval series is actual.*

*HRV analysis is associated with the use of hardware and software systems that must ensure reliable information retrieval, reliable recognition and measurement of cardio intervals with the construction of temporary dynamic series and the application of standardized mathematical analysis procedures to them. The use of the wavelet analysis apparatus for processing medical information is the most promising in comparison with other methods. It is his use that allows us to identify key diagnostic features and obtain a frequency-time characteristic of the signal under study.*

*We propose the use of modern hardware and software systems based on the use of wireless technologies that could contain both long-term and short-term recording modes and could conduct a monitoring analysis of the rhetoric of dispersion. If they go beyond the limits of the norm, they could provide the transfer of information to the server for the coincidence of data and further dispatch to a medical institution for detailed analysis*

*Key words - wavelet analysis, cardiointervalography, rhythmogram, spectral analysis.*

Визначення стану організму людини в реальному режимі часу без обмеження можливості її звичайної повсякденної діяльності є важливим завданням для сучасної медицини. Це в свою чергу потребує вирішення ряду питань. Перш за все це вибір максимально інформативного показника функціонального стану. Інше питання це можливість реєстрації цього показника з застосуванням носимих безпроводних гаджетів.

Цим вимогам відповідають показники варіабельності серцевого ритму (ВСР). В даний час ритм серця розглядається не тільки як показник власної функції синоатріального вузла як водія ритму, але в більшій мірі як інтегральний маркер стану безлічі систем, що забезпечують гомеостаз організму. По структурі серцевого ритму, закладеного в послідовності RR-інтервалів, можна судити про адаптаційні механізми, рівень функціонування вегетативної підсистеми організму, що дозволяє виявити реакцію організму людини на стрес, а також провести експрес-аналіз поточного стану. Дана методика відповідає і іншій вимозі – створенню неінвазивної безпроводної носимої апаратури, що дозволяє отримувати необхідну інформацію не обмежуючи пацієнта в його повсякденній діяльності. З огляду на широкі перспективи розвитку методу, тим більше важливо забезпечити його стандартизацію і порівнянність даних, одержуваних різними дослідниками[1].

Виділяють наступні групи методів оцінки варіабельності серцевого ритму:

- методи часової області - спираються на статистичні методи та направлені на дослідження загальної варіабельності;
- методи частотної області - дослідження періодичних складових ВСР;
- інтегральні показники ВСР (відносять автокореляційний аналіз і кореляційну ритмографію).

Для дослідження феномена регуляції серцевого ритму анатомічними структурами застосовується аналіз ВСР, або метод кардіоінтервалографії. Суть методики кардіоінтервалографії полягає в наступному. Реєструється електрокардіограма (ЕКГ) в трьох основних відведеннях (ліва рука – права рука, ліва рука -

ліва нога, права рука - ліва нога). За отриманою ЕКГ визначаються інтервали між сусідніми R-зубцями, які називаються RR-інтервали, або кардіоінтервали. Для реалізації аналізу варіабельності серцевого ритму необхідно від 100 (для лінійного аналізу) до 3000 (для нелінійного аналізу) кардіоінтервалів. Далі проводять статистичний, гістографічний, кореляційний і спектральний аналіз ритмограм.

Статистичні методи засновані на вимірі NN-інтервалів, а також на порівнянні показників. Вони дають кількісну оцінку варіабельності. Пацієнт після обстеження отримує кардіоінтервалограму, яка представляє собою сукупність RR-інтервалів, які відображаються один за одним [2].

Для аналізу кардіоінтервалограми використовуються наступні критерії.

- SDNN - стандартне відхилення всіх NN-інтервалів. Відображає всі періодичні складові варіабельності за час запису, тобто є сумарним показником ВСР;
- RMSSD - дані оцінки співвідношення NN-інтервалів;
- pNN50 - цей критерій представляє відношення NN-інтервалів, які відрізняються один від одного більш ніж на 50 мс, із загальним числом NN-інтервалів.

Для аналізу ВСР використовуються також геометричні методи. Суть полягає в отриманні закону розподілу кардіоінтервалів як випадкових величин. Розподіл тривалості кардіоінтервалів відображають на гістограмі.

У стресових ситуаціях, а також при патологічних станах діаграма буде з гострою вершиною (ексцесивна). Асиметрична діаграма спостерігається при перехідних процесах, порушенні стаціонарного процесу. Багатовершинна діаграма свідчить про несинусовий ритм (екстрасистолії, миготливої аритмії).

Геометричні методи дозволяють оцінити варіабельність серцевого ритму за допомогою наступних параметрів: моди, амплітуди моди і варіаційного розмаху. Мода (Mo) - відповідає кількості RR-інтервалів, які зустрічаються найбільш часто, отже, дозволяють оцінити реальний стан систем регуляції пацієнта. Амплітуда моди (АМо) - показує частку інтервалів, які відповідають значенням моди. Цей параметр відображає стабілізуючий ефект централізації управління серцевим ритмом. Варіаційний розмах (VAR) - відповідає різниці між тривалістю найбільшого і найменшого інтервалів. Для того, щоб оцінити ступінь адаптації серцево-судинної системи до різних факторів і подивитися ступінь регуляції даних процесів використовуються додаткові параметри, які розраховуються. До них відносять індекс вегетативної рівноваги (ІВР), показник адекватності процесів регуляції (ПАПР), індекс напруги регуляторних систем (ІН), вегетативний показник ритму (ВІР). Індекс вегетативної рівноваги показує співвідношення впливу на серцево-судинну систему симпатичної і парасимпатичної систем. Показник адекватності процесів регуляції дозволяє визначити вплив на синусовий вузол симпатичного відділу. Вегетативний показник ритму відображає баланс регуляції роботи серцево-судинної системи з боку симпатичного і парасимпатичного відділу вегетативної нервової системи. Індекс напруги вказує на ступінь впливу нервової системи на роботу серця.

Автокореляційний аналіз використовується для оцінки серцевого ритму, як випадкового процесу. Являє собою якісний аналіз, за даними якого можна судити про вплив на автономну систему серця центральної ланки.

Кореляційна ритмографія або скатерографія - це графічне відображення розподілу кардіоінтервалів (попереднього і наступного) в двомірній координатній площині. При цьому по осі абсцис відкладається величина  $R-R_i$ , а по осі ординат - величина  $R-R_i + 1$ . Графік і область точок, отриманих таким чином (плями Пуанкаре або Лоренца), називається кореляційною ритмограмою, або скатерограмою. Цей спосіб оцінки ВСР відноситься до методів нелінійного аналізу та особливо для розпізнавання і аналізу серцевих аритмій. На ритмограмі виділяють «хмару» - еліпс, який відповідає стандартному відхиленню всіх NN-інтервалів. Завдяки цьому методу можна оцінити активність симпатичної вегетативної нервової системи по відношенню до серця. У здорової людини на скатерограмі еліпс буде витягнутий уздовж бісектриси [3].

Застосування методу спектрального аналізу ВСР дозволяє кількісно оцінити вплив на роботу серця різних регуляторних систем. Виділяють три основних спектральних компонента, які відповідають коливанням ритму серця різної періодичності – високочастотні (HighFrequency - HF), низькочастотні (LowFrequency - LF) і дуже низькочастотні (VeryLowFrequency - VLF) компоненти, які використовуються при короткочасному записі ЕКГ (Табл. 1).

ТАБЛИЦЯ 1 КОМПОНЕНТИ СПЕКТРУ

Назва компонентів спектру	Частотний діапазон, Гц	Період, сек
HF	0,4 – 0,15	2,5 – 6,6
LF	0,15 – 0,04	6,6 – 25,0
VLF	0,04 – 0,015	25,0 – 66,0
ULF	Менше 0,015	Більше 66,0

Для тривалих записів використовують також додаткові компоненти - ультранизькочастотні (UltraLowFrequency (ULF)). HF компонент пов'язаний з дихальними рухами і відображає вплив на роботу серця блукаючого нерва. LF компонент характеризує вплив на серцевий ритм як симпатичного відділу, так і

парасимпатичного. VLF і ULF компоненти відображають дію різних факторів, до яких відносять, наприклад, судинний тонус, систему терморегуляції і ін. Важливими параметрами є також TF - загальна потужність спектра, індекс централізації IC (обчислюється за формулою  $(HF + LF) / VLF$ ) і індекс вагосимпатичних взаємодій  $LF / HF$ . TF - дозволяє оцінити сумарну активності впливів на ритм серця вегетативної нервової системи.  $LF / HF$  - характеризує баланс впливу на серце парасимпатичного і симпатичного відділів.

При обробці сигналів зі змінними частотно-часовими параметрами найбільш перспективним у наш час є використання вейвлет-аналізу, а саме такзваневейвлет-перетворення, яке має безсумнівні переваги перед іншими. Перетворення Фур'є, яке часто використовується, представляє сигнал, заданий в часовій області у вигляді розкладання по ортогональних базисних функціях (синусам і косинусам), виділяючи частотні компоненти. Недолік перетворення Фур'є полягає в тому, що частотні компоненти не можуть бути локалізовані в часі. Це обумовлює його застосовність тільки до аналізу стаціонарних сигналів.

Більшість медичних сигналів має складні частотно-часові характеристики. Часто такі сигнали складаються з близьких за часом, короткоживучих високо-частотних компонентів і довготривалих, близьких по частоті низькочастотних компонентів [4].

Для аналізу таких сигналів потрібен метод, що забезпечує хороше дозвіл по частоті і по часу. Перше потрібно для локалізації низькочастотних складових, друге - для дозволу компонентів високої частоти. У разі вейвлет-перетворення нестационарний сигнал аналізується шляхом розкладання по базисних функціях, отриманим з деякого прототипу шляхом стиснень, розтягнень і зсувів. Розрізняють дискретне і безперервне Вейвлет-перетворення, які можна застосовувати як для безперервних, так і для дискретних сигналів. Сигнал аналізується шляхом розкладання по базисних функціях, отриманим з деякого прототипу. Функція-прототип називається аналізують (материнським) вейвлетом.

Метод моніторингу ЕКГ є одним з найважливіших неінвазивних інструментів діагностики серцевих захворювань. В наш час значного поширення та вдосконалення набула телекомунікаційна інфраструктура. Представлена велика кількість підходів, спрямованих на розвиток телеметричних кардіологічних пристроїв. Телеметричні пристрої ЕКГ дозволяють легко і швидко контролювати ЕКГ пацієнтів з підозрою на серцеві дисфункції. Сучасні системи аналізу ВСР дозволяють отримувати зображення спектрограм через певні проміжки часу для оцінки динаміки компонентів спектра під час дослідження [5].

В наш час розроблена велика кількість апаратно-програмних комплексів для реалізації методики кардіоінтервалографії («Варікард», «Віта-Ритм», «ВНС-Ритм», «ВНС-Віта» і «ВНС-Спектр», «Нейрософт», «Карди»). Враховуючи сучасні реалії поряд із якістю одержуваних результатів та функціональними можливостями апаратів одним із важливих аспектів є їх ціна. Всі зазначені апаратно-програмні комплекси працюють спільно з комп'ютером і забезпечують формування динамічних рядів кардіоінтервалів з частотою дискретизації електрокардіографічного сигналу до 1000 Гц і вище. Точність вимірювання RR-інтервалів  $\pm 1$  мс. Проте в сучасних реаліях актуальним є проведення моніторингу стану пацієнта в амбулаторних умовах. Пацієнти з серцевими проблемами, а також здорові люди тепер можуть реєструвати сигнали ЕКГ і відправляти їх лікарям або медичним центрам з використанням телекомунікаційних технологій, що дозволяє включити запис ЕКГ незалежно від місця і часу [6]. З'явилися різні пристрої які забезпечують зручність у повсякденному використанні при носінні на ремнях чи під одягом. За останні кілька років з'явилося безліч додатків для вимірювання ЕКГ з використанням смартфонів або спеціалізованих портативних приладів. Однак якість записаних сигналів залишається основною перешкодою для заміщення сигналів, записаних стандартними мокрими адгезивними електродами, які як і раніше є переважними для довготривалого запису. Погана якість сигналу і, як наслідок, низька клінічна значимість є основною причиною нечіткої класифікації та помилкової інтерпретації серцевих скорочень з артефактами. Тому використання смартфонів є недоцільним та немає функціонального обгрунтування.

Ми пропонуємо використання сучасних апаратно-програмних комплексів, що засновані на використанні бездротових технологій що могли б містити як довгострокові так і короткотривалі режими запису та могли проводити моніторинговий аналіз ритмограм по дисперсії. При виході за межі норми вони могли б забезпечувати передачу інформації на сервер для збігання даних та подальшу відправку в медичний заклад для детального аналізу (рис. 1)



Рис. 1 Діаграма принципів компонентів апаратно-програмного комплексу для моніторингового аналізу ритмограм

## ЗАКЛЮЧЕННЯ

Теоретичні основи аналізу ВСР повинні служити завданням клінікофізіологічної інтерпретації результатів досліджень. Успіх впровадження нової методології в практику багато в чому залежить від наявності адекватних технічних засобів. Аналіз ВСР пов'язаний з використанням апаратно-програмних комплексів, які повинні забезпечити надійний знімання інформації, надійне розпізнавання та вимірювання кардіоінтервалів з побудовою тимчасових динамічних рядів і застосування до них стандартизованих математичних процедур аналізу. Використання апарату вейвлет-аналізу для обробки медичної інформації є найбільш перспективним у порівнянні з іншими методами. Саме його використання дозволяє виявити ключові діагностичні ознаки і отримати частотно-часову характеристику досліджуваного сигналу.

## Література

- [1] R. Baevskii, "Analysis of heart rate variability in space medicine. Fiziol Cheloveka", 2002, pp.70–82.
- [2] L.Mainardi, "On the quantification of heart rate variability spectral parameters using time-frequency and time-varying methods", Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, vol. 367, no. 1887, pp. 255-275, 2009.
- [3] E. Miranda Dantas, M. Lima Sant'Anna, R. VarejãoAndréão, C. Pereira Gonçalves, E. AguiarMorra, M. PerimBaldo, S. Lamêgo Rodrigues and J. Geraldo Mill, "Spectral analysis of heart rate variability with the autoregressive method: What model order to choose?", Computers in Biology and Medicine, vol. 42, no. 2, pp. 164-170, 2012.
- [4] Sobko A., Kozyar V., Khudetsky I., Antonova-Rafi Y. The method of evaluation bioelectric activity of the brain in the study of electroencephalography /14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET) Lviv-Slavske, Ukraine February 20-24, 2018 pp.326-329.
- [5] "Анализ вариабельности сердечного ритма: эволюционно-эпистемологический аспект. Размышление над книгой: Ардашев А. В., Лоскутов А. Ю. Практические аспекты современных методов анализа вариабельности сердечного ритма", ИД «Медпрактика-М», vol. 1-219-20, pp. 414-416, 2018.
- [6] Л. Шилович, "Перспективы диагностического применения метода анализа вариабельности сердечного ритма в спорте (обзор литературы)", *Проблемы здоровья и экологии*, pp. 59-63, 2012.

## Reference

- [1] R. Baevskii, "Analysis of heart rate variability in space medicine. Fiziol Cheloveka", 2002, pp.70–82.
- [2] L.Mainardi, "On the quantification of heart rate variability spectral parameters using time-frequency and time-varying methods", Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, vol. 367, no. 1887, pp. 255-275, 2009.
- [3] E. Miranda Dantas, M. Lima Sant'Anna, R. VarejãoAndréão, C. Pereira Gonçalves, E. AguiarMorra, M. PerimBaldo, S. Lamêgo Rodrigues and J. Geraldo Mill, "Spectral analysis of heart rate variability with the autoregressive method: What model order to choose?", Computers in Biology and Medicine, vol. 42, no. 2, pp. 164-170, 2012.
- [4] Sobko A., Kozyar V., Khudetsky I., Antonova-Rafi Y. The method of evaluation bioelectric activity of the brain in the study of electroencephalography /14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET) Lviv-Slavske, Ukraine February 20-24, 2018 pp.326-329.
- [5] "Analis variabelnosty serdechnogo ritma: evolutsionno-epistomologicheskyy aspekt. Razmishleniye nad knigoy: Ardashev A. V., Loskutov A. Yu. Prakticheskiye aspekty sovremennykh metodov analiza variabelnosty serdechnogo rithma", ID «Medpraktika-M», vol. 1-219-20, pp. 414-416, 2018.
- [6] L. Shilovich, "Perspektivi diagnosticheskogo primeneniya metoda analiza variabelnosty serdechnogo rithma v sporte (obzor literatury)", *Problemy zdoroviya I ecologii*, pp. 59-63, 2012.

УДК 681.391.1

Н.О. ПУНЧЕНКО, С.Г. МАЗУРЕНКО, А.С. ДОМБРОВСЬКИЙ, О.О. ПОПОВ,  
В.О. ЧОПОВСЬКА, В.В. ШЕЛУДЬКО, Ю.Ю. СТОЯНОВОдеська державна академія технічного регулювання та якості  
Національний університет "Одеська морська академія", Одеський національний політехнічний університет  
*iioonn24@rambler.ru***ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ СУДНОВОДІННЯ З ДОПОМОГОЮ БАТИМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ**

*Розглянуті теоретичні основи кореляційно-екстремальних навігаційних систем при поєднанні карт заданих і робочих глибин. Показано, що необхідно приділити підвищену увагу батиметричеським системам навігації для визначення місця судна.*

*Ключові слова:* рельєф морського дна, навігаційний комплекс, система управління судна, визначення місця судна

N.O PUNCHENKO, S.G. MAZURENKO, A.S. DOMBROVSKIY, O.O.POPOV, V.O. CHOPOVS`KA, V.V. SHELUD`KO,  
YU.YU. STOYANOV  
Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality  
National University "Odessa Maritime Academy", Odessa National Polytechnic University  
*iioonn24@rambler.ru***IMPROVING THE ACCRACY OF NAVIGATION BY BATIMETRICHNOYI NAVIGATION SYSTEM**

*In this regard, great importance is the problem of the automation of navigation near the coast and the main part is to automate the process of determining the location of the vessel. With the reduction in the maneuverability of large vessels, as well as with increasing precipitation the need arose to significantly improve the accuracy of the methods and means of determining the place of the vessel. Even more stringent requirements on the accuracy of determining the location are presented in terms of swimming in channels, narrow waters, ports and coastal voyages. The essential navigational information provided by various navigation systems, interactive navigation devices, allowing to identify main parameters you need to know to skippers to ensure the safety of navigation: ship's course, the static and dynamic angles of roll and pitch, vessel speed, distance traveled, sea depth under the keel. This information serves as the basis the functioning of the various systems of automatic control of ship motion.*

*But the presence of only such an Autonomous navigation system and the above uses of depth with the use of outdated technologies not allows determining the location of the vessel with a given. The most widely Autonomous navigation system consisting sensors of the course and speed. In theory, marine navigation, there are also ways to define and Refine the positions of vessels in the depths.*

The theoretical basis of correlation-extreme navigation systems with a combination of maps and set working depth. Shown something must pridiliti pidvischenu attention bathymetric navigation system for finding the ship.

Keywords: seabed topography, navigation system, ship management system, location-ship.

Зі зменшенням маневреності великотоннажних суден, а також зі збільшенням їх опадів виникла необхідність істотно підвищити точність методів і засобів визначення місця судна. Ще більш жорсткі вимоги до точності визначення місця пред'являються в умовах плавання в каналах, узкостях, портах і прибережному плаванні. У зв'язку з цим велике значення набуває проблема автоматизації всього процесу судноводіння поблизу берегів і її основна частина - автоматизація процесу визначення місця судна.

У резолюції ІМО А.935 (23) «Всесвітня радіонавігаційна система» наводяться вимоги до точності плавання при використанні радіонавігаційних систем.

Для підвищення точності визначення координат при проведенні гідрографічних зйомок використовується диференційний варіант GPS (DGPS). В результаті цього стало можливим визначення місця судна з точністю до 10 м. У порівнянні зі зйомкою, виконаною понад 20 років тому, зросла і точність визначення розташування глибин: в залежності від часу проведення промірів і видів обсервації точність координат глибин склала 2 мм на поверхні карти. Значно нижче точність океанського або маршрутного проміру.

Таким чином, детальна зйомка на малих глибинах з високою роздільною здатністю вимагає досягнення порівнянних точностей як по вимірюваним глибинам, так і за визначенням їх координат.

У той же час, точність навігації по полю рельєфу дна обмежується знанням швидкості поширення звуку в районі розташування об'єкта та впливом кутів нахилу ґрунту. Через це похибка визначення поля глибин сягає 2-3% від глибини, що перешкоджає визначенню координат місця розташування об'єкта з необхідною точністю в районах з середніми і великими глибинами. У районах різких змін рельєфу і значних коливань рівня моря похибки глибини найбільші. Всі ці фактори необхідно враховувати як при формуванні цифрових карт глибин, так і при розробці алгоритмів навігації по рельєфу морського дна. Виходячи з цих вимог зараз велика увага приділяється питанням створення і впровадження навігаційних інформаційних систем з відображенням електронної карти, що слід розглядати як реальне підвищення точності і безпеки судноводіння.

Інтегрування навігаційних інформаційних систем з системами управління судна відкриває широкі можливості по забезпеченню безпеки мореплавання, автоматизації процесу судноводіння.

Таким чином, виникає задача корекції основних автономних навігаційних систем за допомогою використання допоміжної навігаційної системи. Рішенням цієї проблеми може бути навігація по природному геофізичного поля Землі. Теоретичні та експериментальні дослідження, що проводяться з метою подальшого вдосконалення і розвитку апаратури автономної навігації, привели, на думку фахівців, до розробки досить перспективних кореляційно-екстремальних навігаційних систем. Такі системи засновані на зіставленні інформації пристроїв спостереження (датчики поля) з картою поля, що зберігається в пам'яті бортового комп'ютера. Останнім часом широке застосування знаходять гідроакустичні навігаційні системи, в яких використовується інформація про глибину під кілем, такі системи називають батиметрическая системами навігації.

Сучасна батиметрическая система являє собою навігаційний комплекс, в якому навігаційні прилади, гідроакустичні система, приймачі супутникових навігаційних систем інформаційно об'єднані за допомогою мережі бортових комп'ютерів в єдину навігаційну систему.

Навігаційний комплекс оснащений приемоіндикаторе супутникової навігаційної системи, гірокомпасом і / або магнітним компасом, штатними гідроакустическими приладами - кореляційним або доплеровским гідроакустичним лагом, ехолотом.

Блок визначення глибини є підсистемою вимірювання і запису значень глибин морського дна в базу даних в реальному часі за допомогою ехолота. Вся навігаційна інформація зберігається в базі даних і далі використовується розрахунковими алгоритмами.

Корреляционно-экстремальная система навигации (КЭСН) производит определение места судна посредством совмещения карты заданных глубин (КЗГ) и карты рабочих глубин (КРГ), формируемой по ходу суда, и записи информации от датчиков глубин в базу данных. Все навигационные вычисления производятся центральным бортовым компьютером, включенным в локальную вычислительную сеть, где навигационные датчики являются абонентами этой вычислительной сети.

То есть батиметрическая система навигации – это совокупность распределенных подсистем, взаимосвязанных между собой и управляемых программно.

Інформація з бази даних надходить в блок кореляційно-екстремальної системи навігації. Даний блок реалізований сукупністю розрахункових алгоритмів, які виробляють визначення найбільш ймовірного місця судна в даний момент часу за допомогою обробки надійшла навігаційної інформації і порівняння поточного профілю глибин з картою заданих глибин.

Навігаційна інформація по ходу обчислень відображається в графічному і цифровому вигляді на екрані бортового комп'ютера. Завдання відображення інформації на екрані монітора є другорядною, але від її рішення залежить ступінь повноти сприйняття інформації і можливість прийняття правильного рішення. Наступне завдання - це блок аналізу інформації, який представлений алгоритмами, що дозволяють визначити точність отриманих результатів і зробити відображення необхідної інформації з бази даних.

База даних глибин має блок програмної адаптації (додавання, корекції) наявної інформації про глибини для заданого району електронної карти.

Переваги батиметричної системи полягають в тому, що при наявності відповідних карт морського дна система дає можливість визначити місце судна з досить високим ступенем точності при будь-якої видимості і будь-яких погодних умовах, не використовуючи засоби астронавігації і радіонавігації.

### Література

1. Завьялов, В. В., Ключева С.Ф. Батиметрические системы навигации на базе ДГАЛ / В. В. Завьялов, С. Ф. Ключева // Вестник морского государственного университета. Судовождение. – Владивосток: МГУ им. Г.И. Невельского – 2004. – С.116-124.
2. Виноградов К.А., Манулис Б.М., Осюхин Б.А., Яковлев Г.А. Навигационные эхолоты / К.А. Виноградов, Б.М. Манулис, Б.А. Осюхин, и др.// Судостроение за рубежом. – 1997. – № 7. – С. 54-74.
3. Ключева С.Ф., Завьялов, В. В. Синтез алгоритмов батиметрических систем навигации / С.Ф. Ключева, В.В. Завьялов // Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. – 132 с. ISBN 978-5-8343-0899-7.

### References

1. Zav`yalov V.V., Klyueva S.F. Batimetricheskie sistemi navigacii na baze DGAL/ V.V Zav`yalov, S.F. Klyueva // Vestnik morskogo gosudarstvennogo universiteta. Sudovojdenie.– Vladivostok: MGU im. G.I. Nevel'skogo – 2004.– S. 116-124.
2. Vinogradov K.A., Manulis B.A., Osyuhin B.A., Yakovlev G.A. Navigacionnie eholoti / K.A. Vinogrado, B.A. Manulis, B.A. Osyuhin, i dr.// Sudostroenie za rubejom. – 1997. – №7. – S. 54 – 74.
3. Klyueva S.F., Zav`yalov V.V. Sintez algoritmov batimetricheskih system navigacii / S.F. Klyueva., V.V Zav`yalov // Vladivostok:Mor. gos. un-t. 2013 – S. 288 ISBN 978-5-8343-0899-7.

## ПЛАНУВАННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ДЛЯ КОМЕРЦІЙНИХ УСТАНОВ

**Анотація.** Розглядаються питання розробки енергетичні стратегії комерційних установ для підвищення ефективності їх систем управління.

**Ключові слова:** енергетична стратегія, показник енергоефективності, управління енергоефективністю.

\* O.B. VIUNENKO, \* A.V. TOLBATOV, \*\* V.A. TOLBATOV

\* Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine;

\*\* Sumy State University, Sumy, Ukraine

tolbatov@ukr.net

## PLANNING OF ENERGY CONSUMPTION FOR COMMERCIAL ORGANIZATIONS

**Annotation.** Most organizations plan their budgets by analyzing the time series of consumption data, showing a tendency and performing forecasts by adding certain factors to the growth of their costs. Others have the opportunity to turn to communal services to determine the forecasted growth rate next year. Both of these methods are inaccurate. The rates of utilities are constantly changing, and they are influenced by factors that are not subject to control and can not be foreseen, such as natural and man-made disasters, extreme weather conditions or political unrest. The most effective way is to develop a budget based on actual energy consumption and tariffs. Collect all data from various utility accounts and base forecasts on this data. The assumption in this method is that data is used to change the cost of energy, and not vice versa. The budget of energy resources is expedient for companies, the cost of which energy resources constitute a significant share in the cost of production. This budget is intended for the planning, analysis and control of the needs for production and sales of services in energy costs by types, activities, in general, in the enterprise in terms of value and physical indicators throughout the budget period. In general, the energy budget is a plan for the energy industry of the institution and is based on the planning of annual consumption and production or purchase of energy resources. The need for energy resources is based on: 1) energy consumption for production purposes; 2) permanent expenses for lighting, ventilation and heating of buildings, structures, structural subdivisions of the institution; 3) planning of losses of electric and thermal energy according to normative characteristics taking into account measures for their reduction; 4) the possible needs of subscribers of the institution in energy resources. Also, having its own production facilities, specialists of the institution calculate the amount of conventional fuel, the cost of materials and purchased products, plan the trends in changes in costs for energy resources and analysis of general economic indicators, as well as conducting research on the economic feasibility of the load and make balances of electrical and thermal energy.

**Keywords:** energy strategy, energy efficiency index, energy efficiency management.

Для власників комерційної нерухомості прогнозування і бюджетування енергоносіїв є досить складним проектом. Великі об'єкти із різними формами власності важко бюджетувати, оскільки немає загальнонаціональних програм для допомоги власникам та керівникам таких об'єктів. Витрати на енергію можуть постійно коливатися, але власники та керівники об'єктів повинні тримати витрати під контролем та прогнозувати, що і як буде витрачено в найближчі місяці [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7].

Більшість організацій планують свої бюджети, проводячи аналіз даних часових рядів споживання, виявляючи тенденцію та виконують прогнози додавши певні фактори зростання своїх витрат. Інші мають можливість звернутися до комунальних служб, щоб визначити прогнозовані темпи зростання в наступному році. Обидва ці методи є неточними. Ставки комунальних послуг постійно змінюються, і на них впливають фактори, які не піддаються контролю і не можуть бути передбачені, такі як природні та людські катастрофи, екстремальні погодні умови або політичні заворушення. Найбільш ефективним способом є розробка бюджету, що базується на фактичному споживанні енергії та тарифах. Зберіть всі дані з різних облікових записів утиліти та базуйте прогнози на цих даних. Припущення в цьому методі полягає в тому, що використовуються дані по зміні вартості енергії, а не навпаки. Бюджет енергоресурсів доцільно складати для компанії, витрати на енергоресурси яких складають значну частку в собівартості виробленої продукції. Даний бюджет призначений для планування, аналізу та контролю потреби виробництва і реалізації послуг у витратах енергоресурсів за видами, напрямками діяльності, в цілому по підприємству в вартісних і натуральних показниках протягом усього бюджетного періоду.

Загалом бюджет енергоносіїв є планом роботи енергетичного господарства установи і ґрунтується на плануванні річного споживання і виробництва або придбання енергоресурсів. Потреба в енергоресурсах складається з урахуванням: 1) витрати енергії на виробничі цілі; 2) постійні витрати на освітлення, вентиляцію та опалення будівель, споруд, структурних підрозділів установи; 3) планування втрат електричної і теплової енергії за нормативними характеристиками з урахуванням заходів по їх зниженню; 4) можливих потреб субабонентів установи в енергоресурсах. Також маючи власні виробничі установки, фахівці установи розраховують кількість умовного палива, вартість матеріалів і покупних виробів, здійснюють планування тенденцій зміни витрат по енергоресурсах і аналіз загальноекономічних показників,

а також проводять дослідження економічної доцільності завантаження і складають баланси електричної і теплової енергії. Великі установи витрачають щороку значні кошти безпосередньо на енергію, а також більш опосередковано, на ланцюжок постачання, аутсорсинг та логістичні витрати. Однак, окрім самих енергоємних галузей, більшість установ підходять до енергії як до простої вартості для управління. Це стратегічна помилка, яка не помічає великих можливостей зменшення ризиків, підвищення стійкості та створення нових цінностей. Провідні фірми в багатьох секторах розробляють свої енергетичні стратегії, але можна виділити п'ять основних етапів, які є базою для побудови надійної енергетичної стратегії [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7].

1. Енергетична стратегія буде важко впроваджуватись без явного залучення з боку директора та чіткої структури управління, тобто в рамках установи необхідно зробити енергетичну стратегію центральною місією та конкурентоспроможністю фірми.
2. Інтеграція питань енергетики у бачення та операції установи. Серед питань, які слід розглянути в першу чергу - скільки енергії використовує установа, і що це коштує? Який вплив роблять ці витрати на основні фінансові показники? Чи використано всі можливості для застосування поновлюваних джерел енергії? Як це співпадає з сподіваннями клієнтів, інвесторів та працівників, і як це виглядає у порівнянні з конкурентами? Відповіді на ці питання швидко розкриють потенційні можливості роботи та недоліки організації. Після встановлення цілей необхідно створити стимули для працівників у всій організації, тобто зробити енергію операційним пріоритетом. Плани, які тісно пов'язані з компенсацією керівників установи, повинні включати не тільки очікувані експлуатаційні показники, такі як обсяги виробництва, а також енергетичні та екологічні показники ефективності, такі як енергія, що використовується на кожну одиницю продукції. Крім того, керівництво повинно визначити, як інтегрувати енергетичні пріоритети зі стратегічними процесами фірми, а також поєднати дві операції, які зазвичай відрізняються: закупівля енергії та управління її використанням. Як правило, менеджери в одній частині фірми зосереджують увагу на купівлі енергії за найнижчою ціною та розробку бюджету і стратегії ризику; а інші менеджери працюють над зменшенням споживання та підвищенням ефективності її споживання. Координація цих заходів може заощадити кошти і зменшити операційні ризики. Наприклад, менеджери закупівель можуть обирати енергетичні контракти з більш високими витратами під час періоду пікового попиту мережі в обмін на більш низькі ставки в більш спокійні періоди, а менеджери, які працюють над попитом, можуть змінити графіки споживання, щоб уникнути пікових періодів і навіть зменшити платежі за комунальні послуги при скороченні енергоспоживання у пікові години. Сучасні установи також експериментують із зниженням їхнього пікового використання енергії, використовуючи накопичену раніше енергію, наприклад, використовуючи акумулятори для зберігання енергії із сонячних панелей.
3. Відстеження енергії на всіх рівнях. Більшість установ не можуть легко сказати, скільки енергії вони використовують на рівні підприємства або на рівні окремих виробництв або видів діяльності. Енергія є однією з найбільших витратних сфер для установ, разом із витратами на персонал, продукцію і обладнання, але все це не контролюється і не керується на необхідному рівні. Більшість установ не мають необхідних інформаційних систем для швидкого доступу до енергетичних даних або не мають безперервної оперативної інформації, яка піддається відповідному застосуванню. Моніторинг та аналіз використання енергії можуть виявити операційні проблеми, які впливають на витрати, продуктивність та якість, а порівняння використання енергії на аналогічних об'єктах може також виявити шляхи підвищення ефективності виробництва. Необхідно також мати детальне розуміння використання енергії в масштабах всієї установи, ця інформація може допомогти розробити детальні прогнози, як нестабільність цін на енергію та наявність енергії впливатимуть на загальні операції, прибуток та грошові потоки.
4. Перехід на поновлювальні джерела енергії та інші передові енергетичні технології. Ринок екологічно чистих енергетичних технологій швидко змінюється і всім установам необхідно розуміти, як технології, так і варіанти їх фінансування. Фірми, які не досить агресивно використовують поновлювані джерела енергії та інші нові енергетичні технології у своїх загальних енергетичних стратегіях, не враховують важливих переваг та піддають себе додатковим ризикам. На сьогодні енергетичний ландшафт характеризується підвищенням пропозицій і падінням витрат ряду альтернативних енергетичних технологій, в тому числі вітрових турбін, сонячних батарей, біопалива, паливних елементів, батарей, світлодіодного освітлення, і вдосконалених вимірювальних пристроїв. Новітні проекти з відновлюваної енергетики вже мають вартість енергії нижче вартості будь-якого іншого джерела енергії. Чисті енергетичні технології можуть постійно нарощуватись, а їхні ціни падатимуть, але компанії не завжди можуть легко скористатися ними. Все це вимагає складного розуміння фінансових та ризикових наслідків різних варіантів придбання і впровадження. Взагалі, поновлювані джерела енергії та нові енергетичні технології забезпечують безліч переваг, крім хеджування цін, наприклад, вони можуть допомогти установам заздалегідь правильно позиціонувати себе до зміни майбутніх правил енергоринку. Нарешті, чіткі енергетичні зобов'язання забезпечують брендові переваги та можливості для конкурентної диференціації.
5. Залучення ключових учасників. Великі фірми повинні співпрацювати з державними установами і органами місцевого самоврядування, щоб впливати на енергетичні та екологічні норми, які впливають на їхній бізнес, вони повинні зв'язатися з клієнтами, спільнотами, інвесторами та працівниками в плані просування своєї енергетичної стратегії, адаптуючи свої комунікації до інтересів кожного з них. Зараз значна частина дій відбувається на місцевому та регіональному рівнях і для того, щоб відобразити цінність використання чистої технології, всі установи повинні виступати за політику, яка сприяє вдосконаленню енергетичної системи, включаючи розподілену генерацію. Зовнішні комунікації також повинні бути адаптовані до інвесторів та



ділових партнерів. Зв'язок із партнерами та інвесторами особливо важливий, коли енергія та вуглець є суттєвими питаннями, пов'язаними з витратами, ризиками, стійкістю та продуктивністю компанії чи її клієнтів. Зусилля фірм щодо стійкості бізнесу, включаючи зобов'язання щодо чистої енергетики, можуть бути ключовими факторами довіри до бренду та вартості всього бізнесу. Залучення працівників до реалізації енергетичної стратегії має матеріальну та нематеріальну користь. На практиці важко повністю виконати будь-яку стратегію без участі працівників в ініціативах з підвищення ефективності, а відкрите спілкування з працівниками в питаннях енергетичної стратегії установи відчутно посилює їх зацікавленість. Це важко виміряти, але очевидно, що організаційні цінності також важливі для всіх працівників.

**Висновки.** Енергетичні ініціативи в будь-якій частині бізнесу потребують певних інвестицій і навіть якщо вони не потребують додаткових капіталовкладень, то вони потребують часу і організаційного досвіду. Але всі наведені рекомендації знаходяться в розпорядженні більшості наших вітчизняних установ, і значні переваги, які вони можуть надати сучасному бізнесу, постійно і швидко зростають. Розглянувши практики розробки енергетичні стратегії установи в цілому, і бюджетування зокрема, очевидно, що навіть ідеально побудовані бюджети не зможуть вирішити всіх проблем. Однак вони будуть здатні допомогти керівникам підприємств зрозуміти, в чому ці проблеми полягають і як максимально швидко і ефективно можливо їх подолати.

### Література

1. Толбатов В.А. Організація систем енергозбереження на промислових підприємствах : навч. пос. / В.А. Толбатов, І.Л. Лебединський, А.В. Толбатов / – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 195 с.
2. Толбатов А.В. Моделивання процесу вироблення електроенергії газотурбінними електростанціями / А.В. Толбатов, Г.А. Смоляров, В.А. Толбатов // Міжнародний науково-технічний журнал “ВОТТП”. – Хмельницький, 2017. – №2. – С. 69–72.
3. Толбатов А.В. Розвиток та перспективи розширення предметної галузі використання інформаційної технології аналізу динаміки процесів функціонування газотурбінної електростанції / А.В. Толбатов, В.А. Толбатов, Г.А. Смоляров // ScientificWorldJournal, Issue №14, Vol.3 (Yolnat PE, Minsk, 2017) – P.38–42.
4. В'юненко О.Б. Застосування інформаційно-аналітичних систем для управління енергоефективністю бюджетних установ / О.Б. В'юненко, А.В. Толбатов, В.А. Толбатов // Матеріали XVII МНТК “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП-17-2017)” (08-13 червня 2017 р.). – Одеса–Хмельницький : ХНУ, 2017. – С. 107–108.
5. Толбатов А.В., Толбатов В.А. Методологія створення бази знань життєвого циклу автономних енергогенеруючих установок // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2008. – № 1. – С. 140–146.
6. Толбатов А.В. Научное окружение современного человека: Экономика, Менеджмент, Медицина и фармацевтика, Химия, Биология, Сельское хозяйство, География и Геология : монография / [авт.кол. : Львович И.Я., Н.М.Орлов, Преображенский А.П., Толбатов А.В., Чопоров О.Н. и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 175 с.
7. Толбатов В.А. Научное окружение современного человека: Техника и технологии : монография / [авт.кол. : И.Я.Львович, А.П.Преображенский, В.А.Толбатов, И.Ф.Червоний, О.Н.Чопоров и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 181 с.

### References

1. Tolbatov V.A. Orhanizatsiya system enerhozberezhennya na promyslovykh pidpryyemstvakh : navch. pos. / V.A. Tolbatov, I.L. Lebedyns'kyi, A.V. Tolbatov / – Sumy: Vyd-vo SumDU, 2009. – 195 s.
2. Tolbatov A.V. Modeliuvannya protsesu vyroblennia elektroenerhii hazoturbinnykh elektrostantsiiamy / A.V. Tolbatov, H.A. Smoliarov, V.A. Tolbatov // Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal “VOTTP”. – Khmelnytskyi, 2017. – №2. – S. 69–72.
3. Tolbatov A.V. Rozvytok ta perspektyvy rozshyrennia predmetnoi haluzi vykorystannia informatsiinoi tekhnologii analizu dynamiky protsesiv funktsionuvannya hazoturbinnoi elektrostantsii / A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov, H.A. Smoliarov // ScientificWorldJournal, Issue №14, Vol.3 (Yolnat PE, Minsk, 2017) – P.38–42.
4. Viunenko O.B. Zastosuvannya informatsiino-analitychnykh system dlia upravlinnia enerhoefektyvnosti biudzhetnykh ustanov / O.B. V'iuenko, A.V. Tolbatov, V.A. Tolbatov // Materialy XVII MNTK “Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh (VOTTP-17-2017)” (08-13 chervnia 2017 r.). – Odessa–Khmelnitskyi : KhNU, 2017. – S. 107–108.
5. Tolbatov A.V., Tolbatov V.A. Metodolohiia stvorennia bazy znan zhyttievoho tsyклу avtonomnykh enerhoheneruiuchykh ustanovok // Visnyk Sumskoho derzhavnoho universytetu. Seriya Tekhnichni nauky. – 2008. – № 1. – S. 140–146.
6. Tolbatov A.V. Nauchnoe okruzhenie sovremennogo cheloveka: Ekonomika, Menedzhment, Meditsina i farmatsevtika, Himiya, Biologiya, Selskoe hozyaystvo, Geografiya i Geologiya : monografiya / [avt.kol. : Lvovich I.Ya., N.M.Orlov, Preobrazhenskiy A.P., Tolbatov A.V., Choporov O.N. i dr.]. – Odessa: KUPRIENKO SV, 2018 – 175 s.
7. Tolbatov V.A. Nauchnoe okruzhenie sovremennogo cheloveka: Tehnika i tehnologii : monografiya / [avt.kol. : I.Ya.Lvovich, A.P.Preobrazhenskiy, V.A.Tolbatov, I.F.Chervoniy, O.N.Choporov i dr.]. – Odessa: KUPRIENKO SV, 2018 – 181 s.

\* A.V. TOLBATOV, O.B. VIUNENKO, \* G.A. SMOLAROV, \*\* V.A. TOLBATOV  
\* Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine;  
\*\* Sumy State University, Sumy, Ukraine  
tolbatov@ukr.net

## TOPICAL ISSUES OF UNIVERSITIES' DISTANCE E-LEARNING SYSTEM SUPPORT

**Annotation.** The work overviews models by which the system of distance education was developed within the University. Intellectuality of the system consists in learning process personalization and the automatic development of tests according to the certain course.

In terms of information glut and rapid development the annual knowledge growth of a student is about 4-6%, specialist gains up to 50% after graduation. That means that almost the third part of the working time should be spent on the replenishment of professional knowledge. All these leads to extremely high significance of the professional knowledge management and studying support systems development.

Distance education e-learning technology usage is completely different from traditional ways of studying and is mostly based on individual studying by a student. Significant part of teacher's work is handed to computer. Basically educational systems become an expert-teacher and transfers knowledge to the student. Therefore, the main feature of the distance education systems is the ability to establish necessary knowledge sources and gain knowledge individually. The possibility of studying process individualization is one of the main advantages of the application of information technologies.

Everything mentioned above contributes to solving the issue of studying individualization based on methods, technologies and software development for distance education. During the studying process within one subject, adaptive E-learning management model based on Moore's finite-state machine has been implemented. In this case educational process is considered as discrete one which is characterized by certain stable states of information E-system.

Usage of the Tree-Net model components allows personalization of the educational environment which helps to understand the place of the information in the educational plan. It also helps to extend opportunities for individual acquaintance with the subject field of the study.

**Keywords:** E-learning, distance education, information, information technologies.

\* A.V. ТОЛБАТОВ, \* О.Б. В'ЮНЕНКО, \* Г.А. СМОЛЯРОВ, \*\* В.А. ТОЛБАТОВ  
\* Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна;  
\*\* Сумський державний університет, м. Суми, Україна  
tolbatov@ukr.net

## АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ПІДТРИМКИ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ВНЗ

**Анотація.** Розглядаються актуальні питання підтримки системи дистанційного навчання ВНЗ для підвищення ефективності їх функціонування.

**Ключові слова:** Е-навчання, дистанційна освіта, інформація, інформаційні технології.

In terms of information glut and rapid development the annual knowledge growth of a student is about 4-6%, specialist gains up to 50% after graduation. That means that almost the third part of the working time should be spent on the replenishment of professional knowledge. All these leads to extremely high significance of the professional knowledge management and studying support systems development.

Distance education e-learning technology [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], usage is completely different from traditional ways of studying and is mostly based on individual studying by a student. Significant part of teacher's work is handed to computer. Basically educational systems become an expert-teacher and transfers knowledge to the student. Therefore, the main feature of the distance education systems is the ability to establish necessary knowledge sources and gain knowledge individually. The possibility of studying process individualization is one of the main advantages of the application of information technologies.

Everything mentioned above contributes to solving the issue of studying individualization based on methods, technologies and software development for distance education. During the studying process within one subject, adaptive E-learning management model based on Moore's finite-state machine has been implemented. In this case educational process is considered as discrete one which is characterized by certain stable states of *Qi* system. Formalized model of programmed studying management is depicted on figure 1a as Moore's machine; its representations as a flowchart algorithm is depicted on figure 1b [8], [13], [14].

On the every single step of cooperation with the system objects students gain certain educational

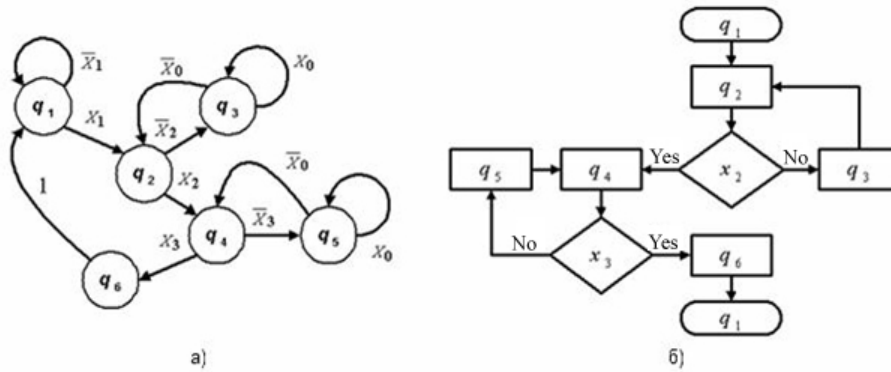


Fig. 1 – Educational model based on Moore's machine

influence  $x_i$  - some amount of the educational material  $R_{y_i}$ , represented by the set of text (hypertext)  $g_y$ , static graphic  $py_i$ , animated graphic and video information  $vy_i$ , as well as audio data  $ay_i$ . However, if the material is learned by the student, he transfers from the state  $q_m$  to the new stable state  $q_k$ . If the result of studying is negative ( $i_x$ ), then the additional material  $R_{add}$  should be learned or one should return to the educational material represented by other objects  $Q_{y_{i-1}}$ . Thus, the transition from the state  $q_4$  to  $q_6$  is performed if influence  $x_3$  was successful otherwise transfer to the state  $q_5$  is occurred. Conceptual thesis model is used for text analysis [8], [13], [14]. Through analytical review of text and special visual interface, semantic entities are highlighted and included into the database by the operator. The main semantic entities of the model are concepts and theses. The concept expresses the object of knowledge which is discussed in the given fragment of the studying material. A thesis is a statement or assertion of the concept. Each concept corresponds to a set of theses extracted from the text describing this concept. The set of concepts is  $C=\{c_1, \dots, c_{n2}\}$ . The set of theses is  $T=\{t_1, \dots, t_{n1}\}$ . The set of content elements is  $V=\{v_1, \dots, v_{n3}\}$ . The information stored in the database as a pair "concept - the thesis" allows to draw conclusions about the discussion object in a given text.

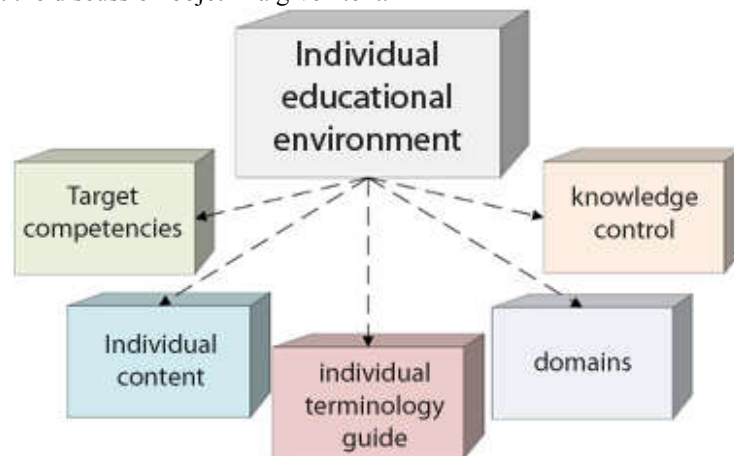


Fig. 2 – Set of components for personalized educational environment

Each element of the content  $v_i$  may have any number of the theses  $t_j$ :  $TV: V \rightarrow 2^T$ .

Each theses  $t_j$  is related to one element of the content  $v_i$ .  $VT: T \rightarrow V$ .

Each concept  $c_k$  may have any number of theses  $t_i$ . Theses affiliation to concepts can be reflected as  $CT: T \rightarrow C$ .

Each concept has a certain set of theses which can be reflected as  $TC: C \rightarrow 2^T$ .

One more essential task is to prepare personalized educational environment which would be able to organize personalized access to resources and meets all other needs of the user. The basic set of components of the educational environment which is generated on the basis of Tree-Net[8], [13] models complex contains a set of individual competencies  $iS \subseteq S$ , individual content area  $iV \subseteq V$ , individual set of domains  $iG \subseteq G$  and

individual terminology guide which is represented by the set of concepts  $iC \subseteq C$

where  $iE = \langle iS, iV, iG, iC \rangle$ .

---

**Summary and conclusions.** Hence, the article deals with the intellectual educational system model. It is aimed at solving scientific and technical issues in informatics and system engineering domains. The educational process is based Moore's machine model, conceptual thesis model which is used to develop 'concept-theses' pairs and tests on these pairs. Usage of the Tree-Net model components allows personalization of the educational environment which helps to understand the place of the information in the educational plan. It also helps to extend opportunities for individual acquaintance with the subject field of the study.

#### Literature

1. Tolbatov A. Information technologies in the educational process as the basis of modern distance learning / Viunenko, O., Tolbatov, A., Vyganyaylo, S., Tolbatov, V., Agadzhanova, S., Tolbatov, S. / 2016 Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings of the 13th International Conference on TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 718–720.

2. Tolbatov A. Development of adaptation technologies to man-operator in distributed E-learning systems / Lavrov, E., Pasko, N., Barchenko, N., Tolbatov, A. / 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017 – Proceedings – Lviv, 2017. – P. 88–91.

3. Tolbatov A. Data representing and processing in expert information system of professional activity analysis / Zaritskiy, O., Pavlenko, P., Tolbatov, A. / 2016 Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings of the 13th International Conference on TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 831–833.

4. Tolbatov A. Using cloud technologies based on intelligent agent-managers to build personal academic environments in E-learning system / Agadzhanova, S., Tolbatov, A., Viunenko, O., Tolbatova, O. / 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017 – Proceedings – Lviv, 2017. – P. 92–96.

5. Tolbatov A. Theoretical bases, methods and technologies of development of the professional activity analytical estimation intellectual systems / Zaritskiy, O., Pavlenko, P., Sudic, V., Tolbatov, A., Tolbatova, O., Tolbatov, V., Tolbatov, S., Viunenko, O. / 2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017 – Proceedings – Lviv, 2017. – P. 101–104.

6. Tolbatov A.V. Modelyuvannya v osviti: Stan. Problemy. Perspektyvy: Aktual'ni pytannya pobudovy systemy monitorynhu dystantsiynoyi osvity ahrarnykh VNZ / Za zah.red. Solovyova V.M. - Cherkasy: Brama, vydavets' Vovchok O.Yu., 2017. - 266 s.

7. Tolbatov A.V. Modern technologies of distance learning in agrarian higher school / S.V. Ahadzhanova, K.H. Ahadzhanov-Gonsales, A.V. Tolbatov, O.I. Zorenko, V.H. Lohvinenko, N.L. Barchenko, V.A. Tolbatov, S.V. Tolbatov // SW Journal Pedagogy, Psychology and Sociology. – Volume J21508 (9). (November 2015). – P. 109-114. – URL: <http://www.sworld.com.ua/e-journal/j21508.pdf>

8. Tolbatov A.V. Rozrobka ta pidtrymka intelektual'noyi systemy dystantsiynoho navchannya u VNZ / A. V. Tolbatov, V. A. Tolbatov, S. V. Tolbatov, D. I. Chechetov // Perspektivnyie innovatsii v nauke, obrazovanii, proizvodstve i transporte '2013: sb. nauch. Tr. Sworld. – Ivanovo, 2013. – Vyp. 4 (13). – S. 18–22.

9. Tolbatov A.V. Development and support of the intelligent system of distance education in universities / A. V. Tolbatov, V. A. Tolbatov, S. V. Tolbatov, D. I. Chechetov // Modern scientific research and their practical application. – 2014. – Vol. J11410. (May 2014). – P. 101–105. URL : <http://sworld.com.ua/e-journal/j11410.pdf>

10. Tolbatov A.V. Information technology architecture development for work complexity assessment algorithms implementation / A. V. Tolbatov, V. A. Tolbatov, S. V. Tolbatov // Modern scientific research and their practical application. – 2014. – Vol. J21410. (November 2014). – P. 166–170. URL : <http://sworld.com.ua/e-journal/j21410.pdf>

11. Tolbatov A.V. Technology of acceptance of administrative decisions on the stage of technical preproduction / P.M. Pavlenko, V.V. Tretiak, A.V. Tolbatov, G.A. Smolarov, V.A. Tolbatov // International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. Hmel'nuckiyi. – 2018. – №1 – P.76-79.

12. Tolbatov A.V. Information and analytical sustention of the transformation process of the management system of development of the ukrainian industry strategic potential / A.V. Tolbatov, M.A. Chuprina, I.A. Shekhovtsova // International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. Hmel'nuckiyi. – 2018. – №1 – P.114-118.

13. Tolbatov A.V. Using blockchain technology for E-learning / A.V. Tolbatov, S.V. Agadzhanova, O.B. Viunenko, V.A. Tolbatov // International scientific-technical magazine – Measuring and computing devices in technological processes. Hmel'nuckiyi. – 2018. – №1 – P.110-113.

14. Tolbatov A. Mathematical models for the distribution of functions between the operators of the computer-integrated flexible manufacturing systems / Lavrov, E., Pasko, N., Krivodub, A., Tolbatov, A. / 2016 Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science, Proceedings of the 13th International Conference on TCSET 2016 – Lviv-Slavske, 2016. – P. 72–75.

## ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ ЗАСІБ ДЛЯ ОБРОБКИ ҐРУНТУ ПРИСАДИБНИХ ДІЛЯНОК

**Анотація.** Наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень по встановленню залежності продуктивності електромобільного технічного засобу від фізико-механічних властивостей ґрунту та параметрів робочого органу, робота якого передбачена в умовах захищеного ґрунту. На підставі проведених експериментів отримано регресійну модель, яка може бути використана для виконання необхідних розрахунків та визначення передумов проведення подальших експериментальних досліджень і технічної реалізації агрегату.

**Ключові слова:** електромобільний пристрій, електромобіль, обробка ґрунту, культивування ґрунту.

M.S. PRYKHODKO, V.O. STRIZH  
Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine  
Mprykhodko91@gmail.com

## ELECTRICAL MECHANICAL PROPERTY FOR SURFACE TREATMENT OF SUSPENDED SURFACES

**Abstract.** The results of theoretical and experimental researches on the establishment of the dependence of the productivity of an electromotive technical means on the physical and mechanical properties of the soil and on the parameters of the working body, the work of which is provided in conditions of protected soil. Based on the experiments we obtained a regression model that can be used to perform the necessary calculations and determine the preconditions for conducting further experimental research and technical implementation of the unit. The purpose of the work is to create an electric unit for use on private plots and in protected ground conditions. To ensure the normal operation of the unit, it was conducted: the study of theoretical material on the planning of the experiment, analysis of existing aggregates. Experimental studies, in which the dependence of the load on the electric drive on the soil moisture, the speed of rotation of the working bodies, the angle of attack of the cutting knife is established. Collection and processing of experimental data. Execution of necessary calculations and interpretation of output data. Making suggestions for improving the structure and functions of the unit. Depending on the type of work performed and the industry, the units can be divided into: power, width of capture and type of energy carrier. In the work with a hand cultivator can be used additional nozzles, which facilitate the processing of small-area areas. When pressed on the handle, the knives are immersed in the ground, and when pushed, the cutting blade cuts the surface layer and the roots of the weeds. The electric wiring is characterized by a small weight, which facilitates its use, is a unique tool in combating weed plants and soil preparation; reliable, mobile. Design features allow, if necessary, to disassemble the unit for transportation or storage. At work, the effort is distributed between the three points - a comb and two cutters. The cutting tool can easily handle different types of soils. Two transport wheels facilitate the movement of the instrument on the site. The productivity of the cultivator is directly affected by the type of soil to be cultivated and its moisture content.

**Keywords:** electric vehicle, electric locomotive, soil tillage, soil cultivation.

Метою роботи є створення електромобільного блоку для використання на присадибних ділянках і в умовах захищеного ґрунту. Для забезпечення нормальної роботи агрегату було проведено: опрацювання теоретичного матеріалу з планування експерименту, аналізу існуючих агрегатів. Експериментальні дослідження, в результаті яких встановлена залежність навантаження електроприводу від вологості ґрунту, швидкості обертання робочих органів, кута атаки ріжучого ножа. Збір та обробка експериментальних даних. Виконання необхідних розрахунків та інтерпретація вихідних даних. Внесення пропозицій по покращенню структури та функцій агрегату [1], [2], [3], [4], [5].

Проаналізувавши процес обробки землі на об'єкті, було визначено що вона вимагає багато сил та часу, а якість не відповідає потрібним умовам. Тому для покращення якості обробки та поліпшення умов праці було розроблено електромобільний блок студентським гуртком на базі кафедри електротехнічних систем в АПК та фізики для обробки землі в тепличному господарстві СНАУ. Електромобільний блок використовується для: розпушування верхнього шару ґрунту, ведення боротьби з бур'янами, зняття підкірки і підгортання [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8].

Залежно від виду виконуваних робіт і галузі використання агрегату можна розділити за: потужністю, шириною захвату та типом енергоносія. У роботі з ручним культиватором може використовуватися додаткові насадки, які полегшують обробку невеликих за площею ділянок. При натисканні на рукоятку ножі занурюються в ґрунт, а при поштовху ріжуче полотно підрізає поверхневий шар і коріння бур'янів. Електромобільний блок характеризується невеликою вагою, що полегшує його використання, є унікальним інструментом при боротьбі з бур'янами рослинами та підготовки ґрунту; надійний, мобільний. Особливості конструкції дозволяють при необхідності розбирати агрегат для транспортування або зберігання. При роботі зусилля розподіляється між трьома точками - сошник і дві фрези. Ріжуче полотно фрез легко справляється з обробкою різних за типом ґрунтів. Два транспортувальних колеса полегшують пересування інструменту по ділянці. На продуктивність культиватора безпосередній вплив має тип оброблюваного ґрунту та його вологість.

Однією з основних характеристик при виборі культиватора є потужність двигуна, саме вона визначає продуктивність інструменту. Леміш регулює глибину оранки, шляхом зміни його положення, зафіксоване затисканням гвинта, або переміщенням положення рукоятки культиватора, шляхом їх підняття чи опускання, що впливає на збільшення або зменшення глибини оранки фрезами. Електромоторний блок екологічний, але вимагає наявності джерела живлення, віддаленість від якого обумовлюється довжиною кабелю. Також вимагає підвищених заходів безпеки при його використанні: корпус має бути заземлений, струмоведучий провід закріплений для попередження попадання під ножі агрегату, робітник одягнений у спеціальний захисний одяг що захищає від предметів які вилітають з-під ножів (грудочки землі, каміння, гілля та інше). У числі основних переваг даного виду техніки для городу можна відзначити: незначну вібрацію, низький рівень шуму, невелику вагу, мобільність, компактність. Його використання багатогранно і особливо ефективно при обробці міжрядь полуниці, соняшнику, кукурудзи, буряків, картоплі, гарбуза, та при внесенні добрив на присадибні ділянки. Використання підгортальника в якості додаткової насадки забезпечує нарізку борозн, підгортання грядок. Щоб виключити перевантаження електродвигуна при експлуатації передбачена відповідна система захисту.

**Висновки.** Використання електромоторного блоку дозволило знизити експлуатаційні витрати, скоротити оплату енергоносія. Підвищити якість обробки ґрунту та продуктивність праці. Все це призводить до покращення врожайності рослин.

#### Литература

1. Іноземцев Г. Б., Козирський В. В. Технологія наукових досліджень електроенергетичних систем в аграрному виробництві: Навчальний посібник. - К.: ТОВ "АГРАР МЕДІА ГРУП", 2011. - 198 с.
2. Купряшкін В.Ф. Обоснование факторного пространства исследования активных рабочих органов самоходных почвообрабатывающих фрез (на примере фрезы ФС-0,85) / В.Ф. Купряшкін // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 2009. – С. 391 – 394.
3. Організація виробництва: [навчальний посібник] / [Г.Є. Мазнев, С.М. Калініченко, І.С. Щербаківа, О.В. Грідін]; за ред. Г.Є. Мазнева. – [вид. 2-ге випр. і доп.]. – Харків: Вид-во «Майдан», 2013. – 604 с.
4. Толбатов А.В. Автоматизація розрахунків балансу гумусу та поживних речовин в ґрунті / Н.Б. Пасько, А.В. Толбатов, О.Б. В'юненко та ін. // Міжнародний науково-технічний журнал "ВОТТП". – Хмельницький, 2017. – №4. – С. 109–118.
5. Толбатов В.А. Організація систем енергозбереження на промислових підприємствах : навч. пос. / В.А. Толбатов, І.Л. Лебединський, А.В. Толбатов / – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 195 с.
6. Толбатов А.В., Толбатов В.А. Методологія створення бази знань життєвого циклу автономних енергогенеруючих установок // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2008. – № 1. – С. 140–146.
7. Толбатов А.В. Научное окружение современного человека: Экономика, Менеджмент, Медицина и фармацевтика, Химия, Биология, Сельское хозяйство, География и Геология : монография / [авт.кол. : Львович И.Я., Н.М. Орлов, Преображенский А.П., Толбатов А.В., Чопоров О.Н. и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 175 с.
8. Толбатов В.А. Научное окружение современного человека: Техника и технологии : монография / [авт.кол. : И.Я. Львович, А.П. Преображенский, В.А. Толбатов, И.Ф. Червоний, О.Н. Чопоров и др.]. – Одесса: КУПРИЕНКО СВ, 2018 – 181 с.

#### References

1. Inozemtsev G. B., Kozyrskiy V. V. Technology of scientific researches of electric power systems in agrarian production: Textbook. - K.: TOB "AGRAR MEDIA GROUP", 2011. - 198 p.
2. Kupryashkin V.F. Obosnovanie faktornogo prostranstva issledovaniya aktivnykh rabochih organov samohodnykh pochvoobrabatyvayushchih frez (na primere frezy FS-0,85) / V.F. Kupryashkin // Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya mekhanicheskikh i energeticheskikh sistem. – Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta. 2009. – S. 391 – 394.
3. Orhanizatsiia vyrobnytstva: [navchalnyi posibnyk] / [H.Ie. Mazniev, S.M. Kalinichenko, I.S. Shcherbakova, O.V. Hridin]; za red. H.Ie. Maznieva. – [vyd. 2-he vypr. i dop.]. – Kharkiv: Vyd-vo «Maidan», 2013. – 604 s.
4. Tolbatov A.V. Avtomatyzatsiia rozrakhunkiv balansu humusu ta pozhyvnykh rehovyn v hrunti / N.B. Pasko, A.V. Tolbatov, O.B. V'iunenka ta in. // Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal "VOTTP". – Khmelnytskyi, 2017. – №4. – S. 109–118.
5. Tolbatov V.A. Orhanizatsiia system enerhozberezhennia na promyslovykh pidpriemstvakh : navch. pos. / V.A. Tolbatov, I.L. Lebedynskiy, A.V. Tolbatov / – Sumy: Vyd-vo SumDU, 2009. – 195 s.
6. Tolbatov A.V., Tolbatov V.A. Metodolohiia stvorennia bazy znan zhyttievoho tsykladu avtonomnykh enerhoheneruiuchykh ustanovok // Visnyk Sums'koho derzhavnoho universytetu. Seriia Tekhnichni nauky. – 2008. – № 1. – S. 140–146.
7. Tolbatov A.V. Nauchnoe okruzhene sovremennoho cheloveka: Ekonomika, Menedzhment, Medytsyna y farmatsevtika, Khymiya, Byolohiya, Selskoe khoziaistvo, Neohrafyia y Neolohyia : monohrfyia / [avt.kol. : Lvovych Y.Ia., N.M. Orlov, Preobrazhenskiy A.P., Tolbatov A.V., Choporov O.N. y dr.]. – Odessa: KUPRYENKO SV, 2018 – 175 s.
8. Tolbatov V.A. Nauchnoe okruzhene sovremennoho cheloveka: Tekhnika y tekhnolohyy : monohrfyia / [avt.kol. : Y.Ia. Lvovych, A.P. Preobrazhenskiy, V.A. Tolbatov, Y.F. Chervoniy, O.N. Choporov y dr.]. – Odessa: KUPRYENKO SV, 2018 – 181 s.

V. V. SEREDA

National University of Water and Environmental Engineering

V. V. GORIN

Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality

## A NEW METHOD FOR HEAT TRANSFER PREDICTION IN CONDENSING INSIDE PLAIN TUBES

**Annotation** - Since the publication of Tepe and Mueller's one of the first works and until now, there were published hundreds of studies with the results of heat transfer investigations in vertical and horizontal tubes with vapor condensing of various liquids. There were proposed dozens of methods and formulas based both on the results of the theoretical research, and on the experimental data.

The existing discrepancy in more than 50% between different experimental data and various empirical and theoretical relationships is shown. At that, the absence of both substantiation of different methods, and explanations of methods disagreement both between themselves and with different experiments is noted. Also, there are often no remarks concerning boundaries for use of the proposed relationships.

There are proposed simple semi-empirical correlations for the local and average heat transfer prediction in condensing inside the plain tubes at the annular and intermediate flow of the phases. These correlations are based on the nature of film condensation process, new empirical data on local heat transfer coefficients and on the specific features of the theoretical solutions results. The range of application of the complexes, which determine the heat transfer process is also substantiated.

Good convergence of a new method with the experimental data on condensation of steam, carbon dioxide, hydrocarbon refrigerants and other various fluids inside horizontal and vertical tubes is shown.

**Keywords:** film condensation, heat transfer, plain tube.

B.B. СЕРЕДА

Національний університет водного господарства та природокористування volodya.81@ukr.net

B.B. ГОРІН

Одеська державна академія технічного регулювання та якості

gorin53@ukr.net

## НОВИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВІДДАЧІ ПІД ЧАС КОНДЕНСАЦІЇ В СЕРЕДИНІ ГЛАДКИХ ТРУБ

Запропоновано просту напівемпіричну залежність розрахунку локального та середнього теплообміну при конденсації в середині труб при кільцевому та проміжному режимах течії фаз.

Наведено коректну збіжність нового методу з експериментальними даними по конденсації пари, діоксиду вуглецю, вуглеводневих холодоагентів та інших різних рідин всередині горизонтальних і вертикальних труб.

**Ключові слова:** плівкова конденсація, тепловіддача, гладка труба.

### 1. Analysis of semi-empirical relationships

In [1], Ananiev et al. deal with a homogeneous model of phase flow in condensing in tubes. The authors are of the opinion that active entrainment of a condensate takes place in most of a tube at a high mass velocity. It is considered the flow of vapor and condensate mix to be turbulent. The authors restricted using their model when  $Re_{l0} > 5 \cdot 10^3$ . Accepting the Reynolds analogy, the authors think that heat transfer in mix condensing is completely analogous to convective heat transfer in turbulent liquid flow in a tube i.e.  $Nu_d = \alpha d / \lambda_l = 0.023 Re_{l0}^{0.8} Pr_l^{0.43} d / \lambda_l$ . Two phase flow were taken into account by introduction of the following complex:

$$Nu_d = c Re_{l0}^{0.8} Pr_l^{0.43} [1 + x(\rho_l / \rho_v - 1)]^{0.5}, \quad (1)$$

where  $Re_{l0}$  – only liquid Reynolds number;  $\rho_l, \rho_v$  – liquid and vapor density, respectively,  $kg/m^3$ ,  $c=0.024$ .

In [2], the experiments on steam condensation in horizontal stainless steel tubes of  $d=10, 13$  and  $17$  mm and  $l=2.5, 12$  m was performed. All 540 experiments have convergence with (1) within the limits of  $\pm 20\%$ .

Shah [6] submitted simple method of local and mean heat transfer prediction, in which the correlations for one-phase convection in liquid turbulent flow in tubes are corrected by function  $\Psi$  including vapor content  $x$  and reduced pressure  $p_r$ . For local heat transfer the formula looks like

$$\alpha = \alpha_c \Psi, \quad (2)$$

In [12] Shah specified correlation (2) inserting there new complex  $(\mu_l / 14\mu_v)^n$ :

$$\alpha_l = \alpha_c (\mu_l / 14\mu_v)^n \Psi, \quad (3)$$

It should be noted that Borishanskij et al. [7] used reduced pressure  $p_r$  for heat transfer prediction in condensing earlier than Shah [6].

Comparison of the additional complexes from (1) and (3) for condensation of steam [2], methane [8], isobutene [9], R22 [10] and R245fa [11] show the values of the additional complexes are practically the same

(divergence within 25%). However, Ananiev's et al. relationship (1) is preferred to use for heat transfer prediction, in contrast to Shah's formula (3).

The third known semi-empirical relationship for heat transfer prediction in condensing inside horizontal tube were drawn by Thome et al. [13]:

$$Nu_d = 0.0039 f_i Re_\delta^{0.7} Pr_l^{0.5}, \quad (4)$$

The authors did not prove the introduction of  $f_i$  by any experimental data. Equation (4) gives good convergence with some experimental data in annular and intermediate flow.

Equation (4) for annular flow regime can be represented in this form  $Nu=f(\beta, Re_i, Pr_l)$ :

$$Nu = c_{new} f_i (0.5 C_f Fr_l)^{0.5} Re_l^{-0.07} Pr_l^{0.5}, \quad (5)$$

where  $c_{new}$  is a new constant.

The calculations of function  $f_i$  for experimental data of steam [2], R22, R32, R134a, R236ea, R410a [19], hydrocarbon refrigerants and dimethyl ether [9] and carbon dioxide [18] were shown, that  $f_i$  changes from 1,5 to 2,0. Taking mean value of  $f_i=1.75$ , following relationship can be obtained:

$$Nu = 1.75 c_{new} (0.5 C_f Fr_l)^{0.5} Re_l^{-0.07} Pr_l^{0.5}, \quad (6)$$

associates with the results in [14].

Equation (6) was used in the experimental data processing on vapor condensation inside a vertical tube [20] and inside a horizontal tube [21]. The demerit of (4) and (6) lies in the constant power of  $Fr_l$ ,  $Re_l$  and  $Pr_l$ , regardless of the numerical values of those numbers. This diverges both with the theory [14] and with the experiments.

The method of Thome et al. (4) is often used by researchers for comparison with different experiments. In contrast to the Ananiev's et al. relationship (1), formula (4) is used for the annular and intermediate flow of the phases (under existing influence of shear stress) and for the stratified phase flow.

As shown in [18], there is the good convergence (~20%) between the experiments on condensation of carbon dioxide inside the horizontal tube of  $d=3,42$  mm and  $l=3.5$  m at  $G=200\div 800$  kg/(m<sup>2</sup>·s) with calculations by (4). It was also shown in [22] that there is the discrepancy in 172% between the experimental data  $\alpha_{exp}$  on condensation of carbon dioxide inside the horizontal tube of  $d=5,15$  mm at  $G=600\div 1000$  kg/(m<sup>2</sup>·s) with the calculated data  $\alpha_{calc}$  by (4).

In [13] the experimental data of Cavallini et al. [9] are compared with (4) for two cases: first, without taking into account the influence of waves – parameter  $f_i$  in (4); secondly, when the parameter  $f_i$  is taken into account.

## 2. Substantial and the rang of application of a new semi-empirical correlation

The analysis of the works, where the experimental data on condensation inside tubes were compared with different design methods, showed great difference among the results of different authors in the case of using the same relationships for heat transfer prediction for all kinds of fluids. The discrepancy in the same design methods for the same refrigerants is 100% and more.

When employing theoretical solutions, the main reason for attaining different results can be first of all the use of different methods for prediction of the friction coefficient  $C_f$ . Then, it is very important to know the range of application for one or another relationship in order to compare them with theoretical solutions as well as with experimental correlations. Many semi-empirical relationships were obtained over a short range of the changes of  $G$ ,  $x$  and physical properties. For this reason, semi-empirical relationships can only be used in conditions which are close to experimental ones.

The theory of film condensation under existing influence of vapor velocity shows that  $Nu_f$  is a function of three parameters  $\beta$ ,  $Re_b$ ,  $Pr_l$  [4]. In [4] the theory predicts different influence of power of  $\beta$ ,  $Re_b$ ,  $Pr_l$ , depending on values of  $\beta$ ,  $Re_b$ ,  $Pr_l$ . For example, in the region of laminar and laminar-wave film flow, the influence of  $Pr_l$  decreases along with the decreases  $Re_b$  till full absence.

The accuracy of the calculation of  $Nu_f$  in the region of the influence  $\beta$  depends on the accuracy of the friction coefficient  $C_f$  determination. There is no substantial procedure to calculate  $C_f$  up to now. So, in [2] it was reviewed more than 20 formulas for calculation of  $\Delta P$  and  $C_f$ , respectively. None of them has enough accuracy (within  $\pm 40\%$ ), when they are compared with experiments.

In this work, the following data were generalized: Cavallini et al. [19] data on condensation of R134a, R125, R32, R410A, R236ea and Ghim and Lee [11] data on condensation of R245fa, NOVEC649 and HFE-7000; Park et al. [9] data on condensation of propylene, propane, DME and isobutene and Kim et al. [18] data on condensation of carbon dioxide; data on steam condensation inside horizontal [2] and vertical [3] tubes. Of all experiments of the authors, mentioned above, the experimental data at such values of  $G$  and  $x$ , when according to [13] the annular or intermediate regime takes place, were chosen for generalization. As usual it occurs at  $\beta > 5$ , when  $Fr_l > 500$ . These data are generalized by the correlation:

$$Nu_f = 0.0144 Fr_l^{0.36} Pr_l^{0.43}. \quad (7)$$

Equation (7) generalizes all experimental data with the error less than 25% ( $R^2 = 0.9574$ ).



## Conclusion

1. The new correlation for heat transfer prediction was obtained. It is based on the theoretical model of turbulent condensation and it is drawn in the form  $Nu_f = 0.0144 Fr_l^{0.36} Pr_l^{0.43}$  ( $Re_l > 800$ ). This equation generalizes the large quantity of the experimental data on condensation inside horizontal and vertical tubes of different fluids.

2. The calculation by the suggested formula does not need a correct estimation of phase flow regimes, condensate accumulation and a friction coefficient  $C_f$ .

## References

1. ANANIEV, E., BOYKO, L., KRUSHILIN, G. Heat transfer in the presence of steam condensation in a horizontal tube. *International Heat Transfer Conference*, 1961, No. 2, p. 290–295.
2. BOYKO, L. Heat transfer during vapor condensation inside tubes (in Russian). *Heat Transfer in the Elements of Power Plants*, 1966, p. 197-212.
3. RIFERT, V., GORIN, V., SEREDA, V., TREPUNEV, V. An improved heat transfer prediction model for film condensation inside a tube with interfacial shear effect. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 2017, Vol. 11, No. 8, p. 1376-1385.
4. ROYAL, John H. *Augmentation of horizontal in-tube condensation of steam*. PhD dissertation, Iowa State University, 1975. 386 p.
5. SAPALI, S., PATIL, P. Heat transfer during condensation of HFC-134a and R-404A inside of a horizontal smooth and micro-fin tube. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2010, Vol. 34, No.8, p. 1133-1141.
6. SHAH, M. A general correlation for heat transfer during film condensation inside pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1979, No. 22, p. 547-556.
7. BORISHANSKIY, V. Application of thermodynamic similarity method for generalization of experimental data on film-type condensation (in Russian language). *Trudy TsKTI, Leningrad*, 1975, No. 131.
8. ZHUANG, X., CHEN, G., ZOU, X., SONG, Q., GONG, M. Experimental investigation on flow condensation of methane in a horizontal smooth tube. *International Journal of Refrigeration*, 2017, Vol. 78, p. 193-214.
9. PARK, K., JUNG, D., SEO, T. Flow condensation heat transfer characteristics of hydrocarbon refrigerants and dimethyl ether inside a horizontal plain tube. *Journal of Multiphase Flow*, 2008, Vol. 34, No. 7, p. 628–635.
10. RIFERT, V., SEREDA, V. Improvement of the design model for condensation inside smooth tubes. BHTC 2015. Proceedings of 7<sup>th</sup> Baltic heat transfer conference. Tallinn: Tallinn University of Technology. 2015 August 24-26.
11. GHIM, G., LEE, J. Condensation heat transfer of low GWP ORC working fluids in a horizontal smooth tube. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2017, Vol. 104, No. 1, p. 718-728.
12. SHAH, M. An improved and extended general correlation for heat transfer during condensation in plain tubes, *ASHRAE Transactions*, 15 (2009), 5, pp. 889–913.
13. THOME, J., HAJAL, J., CAVALLINI, A. Condensation in horizontal tubes. Part 2: New heat transfer model based on flow regimes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2003, Vol. 46, No. 18, p. 3365–3387.
14. BAE, Soonhoon; MAULBETSCH, John S.; ROHSENOW, Warren M. *Refrigerant forced-convection condensation inside horizontal tubes*. Report No. DSR-79760-64. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, 1969, 121 p.
15. LEE, H., MUDAWAR, I., HASAN, M. Flow condensation in horizontal tubes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013, Vol. 66, No. 1, p. 31–45.
16. YU, J., KOYAMA, S., HARAGUCHI, H., MOMOKI, S., ISHIBASHI, A. Boiling and condensation of alternative refrigerants in a horizontal smooth tube. *Reports of Institute of Advanced Material Study, Kyushu University*, 1995, Vol. 9, No. 2, p. 137-154.
17. KWON, J., AHN, Y., KIM, M. A modelling of in-tube condensation heat transfer for a turbulent annular film flow with liquid entrainment. *International Journal of Multiphase Flow*, 2001, Vol. 27, p. 911-928.
18. KIM, Y., JANG, J., HRNJAK, P., KIM, M. Condensation heat transfer of carbon dioxide inside horizontal smooth and microfin tubes at low temperature. *Journal of heat transfer ASME*, 2009, Vol. 131, No. 2, p. 021501.
19. CAVALLINI, A., CENSI, G., DEL COL, D., DORETTI, L., LONGO, G., ROSSETTO, L. Experimental investigation on condensation heat transfer and pressure drop of new refrigerants (R134a, R125, R32, R410A, R236ea) in a horizontal smooth tube. *International Journal of Refrigeration*, 2001, Vol. 24, No. 1, p. 73–87.
20. ISACHENKO, V., SALOMZODA, F. The intensity and regimes of heat transfer with steam condensation in a vertical tube (In Russian). *Teploenergetika*, 1968, Vol. 15 No. 5, p. 84-87.
21. RIFERT, V. Heat transfer and flow modes of phases in laminar film vapor condensation inside a horizontal tube. *International journal of heat and mass transfer*, 1988, Vol. 31, No. 3, p. 517–523.
22. KANG, P., HEO, J., YUN, R. Condensation heat transfer characteristics of CO<sub>2</sub> in a horizontal smooth tube. *International Journal of Refrigeration*, 2013, Vol. 36, No. 3, p. 1090-1097.

І.В. ТРОЦИШИН

ОНАЗ ім. О.С.Попова  
vottp.tiv@gmail.com**КОНСТРУКТОР НАВЧАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСУ З КУРСУ  
«ФІЗИКА» (ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ), СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ**

*Представлено практичну розробку лабораторного практикуму з курсу фізика (електрика та магнетизм) для загальноосвітніх шкіл України. Вперше пропонується комплексний підхід до вирішення проблем із практичною підготовкою з фізики у середніх школах України, шляхом впровадження лабораторного практикуму, який органічно поєднує в собі сучасні електронні компоненти, макетну плату, вимірювальні прилади (мультиметри), а також має електронний стимулятор, для моделювання лабораторних завдань.*

*Вирішення визначених проблем пропонується шляхом: здійснення оновлення матеріально-технічної бази шкільного кабінету фізики для вивчення тем «Електрика та магнетизм», використовуючи навчальний лабораторний комплекс з курсу «Фізика» (електрика і магнетизм); вироблення нової методики навчання, яка полягає в поєднанні трьох складових компонентів комплексу: теоретичного (методичні рекомендації для вчителя та дидактичний матеріал для учнів), прикладного (макетна плата із електричними приладами та вимірювальними засобами) та симуляційного (практичне використання програм - симуляторів); створення нової дидактичної бази (зошит для лабораторних робіт) для оптимізації практичної частини при вивченні фізики в 7-11 класах. Яка дозволяє виконувати експериментальну частину обов'язкової програми з фізики, як в класі, із використанням макетної плати, так і для самостійної роботи учня вдома, із використанням програми - симулятора.*

*При системному використанні можливостей запропонованого лабораторного комплексу поліпшаться знання учнів з фізики, що стане безумовним фактором формування конкурентоспроможного випускника основної школи. Вартість комплексу при стандартному наборі не буде перевищувати 100 доларів США.*

**Ключові слова:** лабораторного практикуму, курс фізика (електрика та магнетизм), оновлення матеріально-технічної бази, кабінет фізики, поліпшаться знання учнів з фізики.

I.V. TROCSYCHYN

ONAT im. O.S. Popova  
vottp.tiv@gmail.com**CONSTRUCTOR OF EDUCATIONAL LABORATORY COMPLEX WITH THE COURSE "PHYSICS"  
(ELECTRICITY AND MAGNETISM), STATE AND PROSPECTS**

*The practical development of a laboratory practice course on physics (electricity and magnetism) for general education schools of Ukraine is presented. For the first time, a comprehensive approach to solving problems with practical physics training in secondary schools of Ukraine is proposed, by introducing a laboratory workshop that organically combines modern electronic components, model board, measuring instruments (multimeters), and also has an electronic stimulator for modeling laboratory tasks.*

*The solution of the identified problems is proposed by: updating the material and technical base of the school's office of physics for the study of the topics "Electricity and Magnetism", using a training laboratory complex from the course "Physics" (electricity and magnetism), the development of a new teaching method, which is to combine three components of the complex: theoretical (methodical recommendations for the teacher and didactic material for students), applied (model board with electric devices and measuring instruments) and simulation (Practical application programs - simulation), creating a new didactic base (booklet labs) to optimize the practical part when studied physics in grades 7-11. Which allows you to perform the experimental part of the compulsory program in physics, as in the classroom, using a model board, and for the student to work independently at home, using a program simulator.*

*With the systematic use of the possibilities of the proposed laboratory complex, students' knowledge of physics will improve, which will become an unconditional factor in the formation of a competitive graduate of the main school. The cost of a complex with a standard set will not exceed 100 USD.*

**Key words:** laboratory workshop, physics course (electricity and magnetism), updating of material and technical base, physics room, knowledge of students in physics.

**Вступ**

*Фізика є фундаментальною наукою, яка вивчає загальні закономірності перебігу природних явищ, закладає основи світорозуміння на різних рівнях пізнання природи й надає загальне обґрунтування природничо-наукової картини світу.*

*Головна мета навчання фізики в середній школі полягає в розвитку особистості учнів засобами фізики як навчального предмета, зокрема завдяки формуванню в них предметної компетентності на основі фізичних знань, наукового світогляду й відповідного стилю мислення, розвитку експериментальних умінь і дослідницьких навичок, творчих здібностей і схильності до креативного мислення.*

*Засвоєння учнями системи фізичних знань та здатність застосовувати їх у процесі пізнання і в практичній діяльності є одним із головних завдань навчання фізики в середній школі*

*Фізика ґрунтується на експерименті. Завдяки навчальному фізичному експерименту учні оволодівають досвідом практичної діяльності людства в галузі здобуття фактів та попереднього їх узагальнення на рівні емпіричних уявлень, понять і законів. За таких умов експеримент виконує функцію*

методу навчального пізнання, завдяки якому у свідомості учня утворюються нові зв'язки й відношення, формується особистісне знання.

*Саме через навчальний фізичний експеримент найефективніше здійснюється діяльнісний підхід до навчання фізики.*

Запропонований лабораторний комплекс на сучасному етапі не має вітчизняних аналогів та дає змогу об'єднати теоретичні знання учнів з практичним застосуванням при вивченні відповідних розділів фізики. Методологічний супровід комплексу дозволить вчителю організувати навчальну діяльність учнів та здобути школярами вміння працювати з реальними фізичними приладами, збирати експериментальні установки, користуватись вимірювальними приладами. Дає змогу оптимізувати самостійну роботу учнів з моделювання електричних явищ, поліпшення дослідницької діяльності. Дозволить учню та вчителю вийти за межі обов'язкового програмного матеріалу. Як кінцевий результат – сприяє формуванню стійких знань з відповідних розділів фізики, формує конкурентно-спроможного випускника з технічних дисциплін. Конструктор можна також використовувати в рамках його можливостей і для інших задач у самостійній творчій роботі учнів. Програмний продукт являє собою електронний конструктор, що дозволяє імітувати на екрані монітора процеси збірки електричних схем, досліджувати особливості їх роботи, проводити вимірювання електричних величин так, як це робиться в реальному фізичному експерименті. Однією з головних особливостей комплексу є максимально можлива імітація реального фізичного процесу. Виготовлено 10 макетних зразків конструктора.5 – апробація в школі, 2 – на станції Юних техніків.



Рис.1. Виготовлені Конструктори

### **Призначення продукту та загальні особливості**

Продукт призначений в допомогу учням (і викладачам) середніх, а також середніх спеціальних навчальних закладів для вивчення розділів курсу фізики "Електрика і магнетизм". Він природним чином доповнює класичну схему навчання, що складається з засвоєння теоретичного матеріалу та спрямований на вироблення практичних навичок експериментування у фізичній лабораторії.

За допомогою конструктора можна: вивчати залежність опору провідників від питомого опору його матеріалу; вивчати закони постійного струму - закон Ома для ділянки кола і закон Ома для повного кола; вивчати закони послідовного і паралельного з'єднання провідників, конденсаторів і котушок; вивчати принципи використання запобіжників в електронних схемах; овивчати закони виділення теплової енергії в електронагрівальних та освітлювальних приладах, принципи узгодження джерел струму з навантаженням; ознайомитися з принципами проведення вимірювань струму і напруги в електронних схемах за допомогою сучасних вимірювальних приладів (мультиметр); вивчати виділення потужності в постійного струму;

дослідити явище резонансу в ланцюгах з послідовним і паралельним коливальним контуром; визначити параметри невідомої деталі; дослідити принципи побудови електричних фільтрів для ланцюгів змінного струму.

Конструктор можна також використовувати в рамках його можливостей і для інших задач у самостійній творчій роботі учнів.

За своїми можливостями, лабораторний комплекс не поступається (в рамках вимог середньої школи) сучасним зарубіжним начальним комплексам провідних фірм, наприклад - NI ELVIS™ II. Вартість комплексу при стандартному наборі не буде перевищувати 100доларів США.

Потреба шкіл України (17 тис. шкіл) потребує (враховуючи 10 комплектів на фізичний кабінет), порядку 200 тис. комплектів. Крім того використання у позашкільній Освіті для роботи кружків «Радіоелектронне конструювання», «Робототехніка», тощо. Складає близько 10% від загального кількості фізичних кабінетів.

Приватне придбання (враховуючи ціну менше 100доларів (2000 грн)) учнями, для самостійного вивчення. Тому загальна кількість 200тис. комплектів, на початковому етапі, і до 2-3 тис. щорічно, в наступний період. Що дає об'єми випуску у 400млн. грн.,(4-6 млн.грн). При системному використанні можливостей запропонованого лабораторного комплексу поліпшаться знання учнів з фізики, що стане безумовним фактором формування конкурентоспроможного випускника основної школи.

Виконання лабораторних робіт передбачає узагальнене експериментальне вміння:

а) уміння планувати експеримент, тобто формулювати його мету, визначити експериментальний метод і давати йому теоретичне обґрунтування, скласти план досліду й визначити найкращі умови для його проведення, обирати оптимальні значення вимірюваних величин та умови спостережень, враховуючи наявні експериментальні засоби;

б) уміння підготувати експеримент, тобто обирати необхідне обладнання й вимірювальні прилади, збирати дослідні установки чи моделі, раціонально розташовувати прилади, досягаючи безпечного проведення досліду;

в) уміння спостерігати, визначити мету й об'єкт спостереження, встановлювати характерні ознаки перебігу фізичних явищ і процесів, виділяти їхні суттєві ознаки;

г) уміння вимірювати фізичні величини, користуючись різними вимірювальними приладами та мірними, визначити ціну поділки шкали приладу, знімати покази приладу;

г) уміння обробляти результати експерименту, обчислювати значення величин, знаходити похибки вимірювань, складати таблиці одержаних даних, готувати звіт про проведену роботу, записувати значення фізичних величин у стандартизованому вигляді тощо.

Учні повинні вміти працювати з реальними фізичними приладами, збирати експериментальні установки, користуватись вимірювальними приладами. Моделювання ж різноманітних ситуацій, наприклад, під час роботи "конструкторами електричних кіл" та іншими аналогічними комп'ютерними програмами, дозволить швидше пізнати закономірності тих чи інших процесів і явищ.

## **Висновки**

Повна відповідність вимогам Програми « Фізика».

Дає змогу об'єднати теоретичні знання учнів з практичним застосуванням при вивченні відповідних розділів фізики.

Методологічний супровід комплексу дозволить вчителю організувати навчальну діяльність учнів та здобути школярами вміння працювати з реальними фізичними приладами, збирати експериментальні установки, користуватись вимірювальними приладами.

Дає змогу оптимізувати самостійну роботу учнів з моделювання електричних явищ, поліпшення дослідницької діяльності.

Дозволить учню та вчителю вийти за межі обов'язкового програмного матеріалу.

Конструктор можна також використовувати в рамках його можливостей і для інших задач у самостійній творчій роботі учнів.

Програмний продукт являє собою електронний конструктор, що дозволяє імітувати на екрані монітора процеси збірки електричних схем, досліджувати особливості їх роботи, проводити вимірювання електричних величин так, як це робиться в реальному фізичному експерименті.

Однією з головних особливостей комплексу є максимально можлива імітація реального фізичного процесу.

Як кінцевий результат – сприяє формуванню стійких знань з відповідних розділів фізики, формує конкурентно-спроможного випускника з технічних дисциплін.

**ВИБІР СПЕКТРІВ РЕАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ  
КОЛЬОРОПЕРЕДАЧІ**

*Анотація.* Розглядаються питання метрологічного забезпечення систем передавання відео каналами. Приводяться координати основних та додаткових до основних кольорів, а також ідентифікація кольорів згідно міжнародного стандарту ISO/TR 16066. Обґрунтовується вибір кольорів для оцінювання якості з відносною насиченістю, що рівна одиниці, для оцінювання насичених кольорів, з насиченістю рівною 0,9 для оцінювання характеру кольорних спотворень, а також з насиченістю 0,5, що відповідає методу оцінювання кольорних спотворень в середині трикутника колірності. Представлено алгоритм вибору спектрального розподілу кольорів та представлено їх на рисунках, як ті, що можуть використовуватись для оцінювання якості кольоропередачі скрізним відео трактом. Представлено аналітичну формулу визначення довжини вектору, що вказує на відстань між еталонними координатами та знайденими. Представлено аналітичний вираз опису критерію визначення відповідності обраного спектрального розподілу заданим координатам кольорів. Отримані результати доводять, що отримані спектральні розподіли для заданих кольорів може бути використано в подальшому. В таблиці представлено назви кольорів, що відповідають обраним координатам кольорів та можуть використовуватись для метрологічного забезпечення скрізних відеотрактів та для побудови оптичних випробувальних таблиць. Представлено пропозиції щодо подальшого використання отриманих результатів.

*Ключові слова:* кольоропередачі, спектри кольорів, основні кольори, ISO/TR 16066.

V.V. PILYAVSKII, R.V. VANKOVYCH, V.V. SHTEFAN, M.O. FOROSTENKO, K.S. NEYMUH  
Odessa National A. S. Popov Academy of Telecommunications  
v.pilyavskiy@ukr.net

**SELECTING REAL OBJECTS SPECTRA FOR THE EVALUATION OF QUALITY OF COLOR TRANSMISSION**

*Abstract.* The questions of metrological support of systems of transmission by video channels are considered. The coordinates of the main and additional to the main colors, as well as color identification according to the international standard ISO / TR 16066 are given. The choice of colors for the estimation of quality with relative saturation equal to one, for the estimation of saturated colors, with saturation equal to 0.9 for assessing the color of the color, is substantiated. distortion, and also with a saturation of 0.5 corresponding to the method of estimating color distortions in the middle of the color triangle. An algorithm for selecting the spectral distribution of colors is presented and presented in figures as those that can be used to evaluate the color rendering video path. An analytical formula for determining the length of a vector is presented, indicating the distance between the reference coordinates and the found ones. The analytical expression of the description of the criterion of determining the correspondence of the chosen spectral distribution to the given color coordinates is presented. The obtained results prove that the received spectral distributions for the given colors can be used in the future. The table shows the color names that match the selected color coordinates and can be used for metrological provision of snapshots and for the construction of optical test charts. Presented suggestions on the further use of the obtained results.

*Keywords:* color transmission, spectra of colors, base colors, ISO/TR 16066.

Традиційний підхід до оцінювання якості роботи скрізного відео тракту є обговорено в ряді джерел наукової літератури. Але прогрес відео технологій потребує удосконалення та побудови нових систем, що будуть виключати існуючі на даний час фактори, що можуть призвести до спотворень, а саме, величину освітлення, - яскраве сонце, захід чи майже відсутнє освітлення (темне оточення). До останніх також слід віднести різні джерела освітлення, а саме, різні типи флуоресцентного, світлодіодного та іншого освітлення. Всі зазначені фактори й інші можуть бути досліджені на спектральних характеристиках сцени об'єкту. Тому цілком даної роботи є питання вибору випробувального спектрального розподілу для оцінювання якості кольоропередачі.

Спектральний розподіл об'єктів для дослідження було вибрано з міжнародного стандарту [1], що гарантує забезпечення необхідних умов, що висувуються до спектральних розподілів.

Серед масивів кольорів, що містяться в стандарті було виділено по одному спектральному розподілу для кольорів червоно ( $R$ ), зеленого ( $G$ ), синього ( $B$ ), жовтого ( $Ye$ ), голубого ( $C$ ), пурпурного ( $M$ ). Точність кольоропередачі; під точністю розуміється оцінювання вектору (вектор має безрозмірну величину й розраховується, як відстань між двома точками в декартовій системі координат ( $\Delta E$ )) зміни координат кольору в колірному просторі.

Повнота оцінювання якості кольоропередавання забезпечується наступним набором кольорів (табл.1):

3.1 для оцінювання насичених кольорів слід використовувати спектральні розподіли, що їх відповідають кольорні координати з відносною насиченістю 1;

3.2 для забезпечення можливості визначення вектору зміни координат насичених кольорів у всіх напрямках координати насиченості повинні бути менша від відносної насиченості кольору, що рівна 1. Враховуючи дані умови рекомендується брати відносну насиченість основних та додаткових до них кольорів рівну 0,9.

3.3 для повного оцінювання не насичених кольорів рекомендується додати до набору випробувальних кольорів основні кольори з відносною насиченістю 0,5.

Пошук необхідного кольору здійснюється виходячи з множини набору спектральних розподілів кольорів ( $N$ ) згідно [1]. Й колір координатам якого необхідно знайти відповідний спектральний розподіл. Критерієм визначення шуканого спектрального розподілу є  $\Delta E$  (1), значення зазначеної величини повинно бути наближено до нуля (2).

$$\Delta E = \sqrt{(x - x_{\text{spectral}})^2 + (y - y_{\text{spectral}})^2 + (z - z_{\text{spectral}})^2} \quad (1)$$

$$\Delta E(i) \approx 0, \quad i \in (1, N) \quad (2)$$

Таблиця 1 – Дані кольорів, що їх рекомендовано використовувати для оцінювання кольоропередачі ( $x, y$  – координати кольору згідно ІТУ-R BT.709,  $x_{\text{spectral}}, y_{\text{spectral}}$  – координати кольору, що еквівалентні знайденому спектру, Колір – назва кольору згідно [1])

	R	G	B	C	M	Ye	$R_{0,9}$	$G_{0,9}$	$B_{0,9}$	$C_{0,9}$	$M_{0,9}$	$Ye_{0,9}$	$R_{0,5}$	$G_{0,5}$	$B_{0,5}$
$x$	0.640	0.300	0.150	0.224	0.321	0.419	0.595	0.300	0.224	0.231	0.320	0.408	0.440	0.305	0.224
$y$	0.330	0.600	0.060	0.328	0.154	0.505	0.329	0.578	0.182	0.329	0.171	0.487	0.329	0.476	0.182
$x_{\text{spectral}}$	0.638	0.301	0.157	0.222	0.314	0.419	0.689	0.302	0.167	0.232	0.322	0.406	0.440	0.304	0.224
$y_{\text{spectral}}$	0.330	0.602	0.060	0.328	0.156	0.505	0.305	0.577	0.081	0.328	0.170	0.488	0.329	0.474	0.182
Колір[1]	of09 g	ph03 t	ph02 t	of02 d	pr ij 4	pr ij 3	pr ds 2	gr p	pr sh 2	of06 d	of04 d	pr ds 1	of08 d	pr ds 4	pr sh 2
$\Delta E$	0.0014	0.0024	0.0075	0.0019	0.0065	0.00025	0.3066	0.0020	0.0045	0.0013	0.0022	0.0019	0.00024	0.0017	0.0007

В таблиці 1 в графі «Колір» представлено наступні кольори:  
Шукані спектральні розподіли представлено на рисунках 1-3.

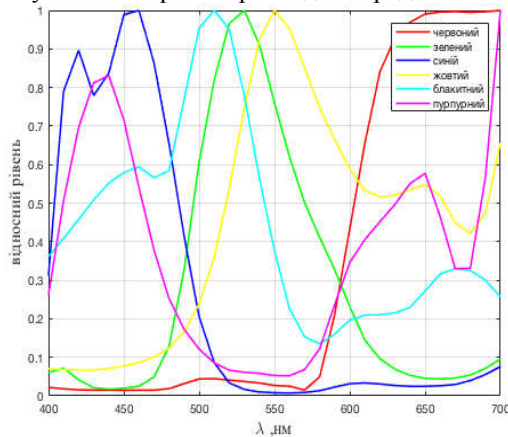


Рис. 1 – Спектральний розподіл для кольорів з відносною насиченістю 1

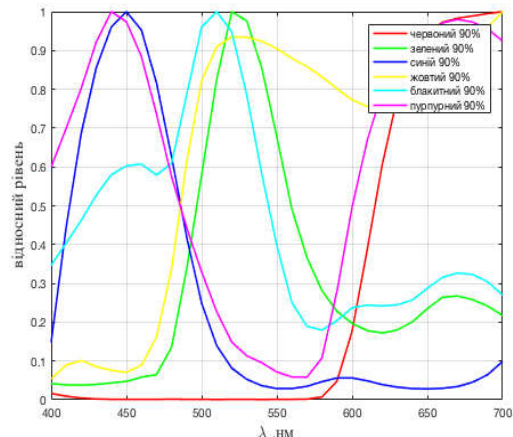


Рис. 2 – Спектральний розподіл для кольорів з відносною насиченістю 0,9

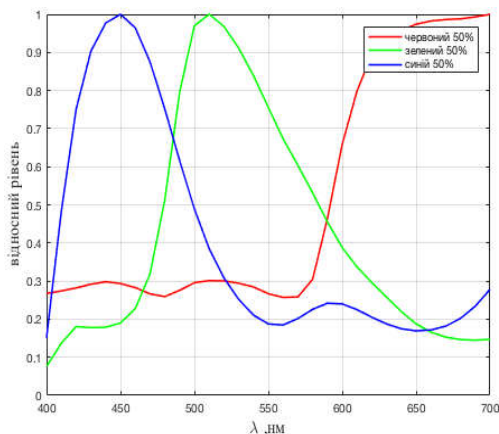


Рис. 3 – Спектральний розподіл для кольорів з відносною насиченістю 0,5

Шукані спектральні розподіли, що еквівалентні координатам колірності, вектор розбіжності між еталонними має знаходитися в допустимих межах. Отже дані отримані дані можна використовувати при визначенні величини похибки при дії різних факторів на кольоропередачі в скрізних каналах відео зв'язку.

В подальшому пропонується використовувати отримані дані при удосконаленні існуючих чи створенні нових систем при адаптації кольоропередачі до різних факторів.

### Литература

1 ISO/TR Graphic technology - Standard object colour spectra database for colour reproduction evaluation (SOCS): 16066:2003.

### References

8. ISO/TR Graphic technology - Standard object colour spectra database for colour reproduction evaluation (SOCS): 16066:2003.

## АНАЛИЗ СТОЙКОСТИ СВЕРЛ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ В ПЕЧАТНЫХ ПЛАТАХ

*Аннотация. В работе рассмотрено влияние режимов сверления на долговечность работы сверл. Показано, что подача, скорость резания и количество просверленных отверстий оказывают существенное влияние на износ сверл. Так, при одинаковых условиях обработки до 1400 отверстий износ сверл практически одинаков, с увеличением подачи, скорости резания и количества отверстий (свыше 2100) износ интенсивно увеличивается.*

*Ключевые слова: сверло, подача, количество отверстий, печатные платы.*

V. V. STRELBITSKIY

Odessa national polytechnic university, Odessa  
strelbitsky.v.v@opu.ua

### ANALYSIS OF THE DRILLING STABILITY AT THE HOLE PROCESSING IN PRINTED BOARDS

*Annotation. In electronic equipment, practically at all levels, printed circuit boards (PCB) are widely used, the manufacture of which is impossible without drilling operations.*

*Analysis of modern literature [1-3] and PCB production technologies has shown that the quality of the drilled holes depends on the base material and foil, tools, equipment and cutting modes. Moreover, it is necessary to analyze more thoroughly the bunch of processed material - cutting modes, since it directly affects the quality and productivity of the holes being processed.*

*Experiments on testing the durability of drills were carried out on the machine tool with numerical control ICV 4030. As the material to be processed, a 4-layer PCB made of Fr 4 textolite, rigidly fastened to the table with the help of tackers (plates). As a research object, drills were chosen for PCB, 1.0 mm in diameter made of hard alloy (analog VK 6).*

*At the first stage, the influence of the cutting speed (speed) on the wear of the drills on the front and rear surfaces was determined for longitudinal feed  $S = 0.05$  mm / rev and two values of rotation speed of 10000 and 15000 min<sup>-1</sup>. Drilling holes was carried out in one pass. After processing 200 holes, the working surfaces of the drills were examined with an instrumental microscope, measuring wear along the transverse edge and back surfaces.*

*The experiments were repeated three times, the results were averaged. The influence of the drilling modes on the durability of drill work is considered in this paper. It is shown that the feed, cutting speed and number of drilled holes have a significant effect on the wear of drills. At the end of the processing cycle, at each of the speeds, the boards were removed and inspected on both sides.*

*Analyzing the obtained results, it can be concluded that the drill wear is affected by the feed rate, the cutting speed and the number of drilled holes in the PCB. With an increase in the number of holes (more than 2000), the wear rate of the drill increases, so it becomes necessary to replace or re-sharpen the drills.*

*Keywords: drill, feed, number of holes, printed circuit boards.*

В радиоэлектронной аппаратуре, практически на всех уровнях, широко применяют печатные платы (ПП), изготовление которых невозможно без операций сверления отверстий [1-6].

Анализ современной литературы [1-3] и технологий производства ПП показал, что качество просверленных отверстий зависит от материала основания и фольги, инструмента, оборудования и режимов резания. Причем, необходимо более тщательно проанализировать связку обрабатываемый материал – режимы резания, поскольку именно она напрямую влияет на качество и производительность обрабатываемых отверстий.

Следует отметить, что сложность процесса сверления отверстий в ПП обусловлена значительной разницей в твердостях армирующей основы (НВ 350-500) и полимерной связующей (НВ 40-55), причем твердость последнего сильно зависит от температуры. Так как при сверлении инструмент проходит случайным образом расположенные участки материалов, твердость которых различается на порядок, а степень износа инструмента (срок службы) зависит от твердости обрабатываемого материала.

Поэтому **целью исследования** является изучение влияния подачи и скорости обработки на износ сверл.

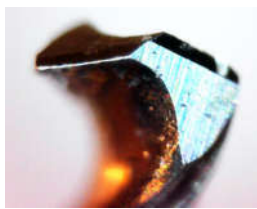


Рис.1. – Заточка сверл

Эксперименты по испытанию стойкости сверл были проведены на станке с ЧПУ ICV 4030. В качестве обрабатываемого материала 4-х слойная печатная плата из текстолита марки Fr 4, жестко закрепленные на столе с помощью прихватов (пластин). В качестве объекта исследований были выбраны сверла для ПП, диаметром 1,0 мм из твердого сплава (аналог ВК 6) (рис.1), которые изготовлены в Китае.

На первом этапе определялось влияние скорости резания (частоты вращения) на износ сверл по передней и задней поверхности – при продольной подаче  $S = 0,05$  мм/об и двух значений частота вращения 10000 и 15000 мин<sup>-1</sup>. Сверление отверстий осуществлялось в один проход. После обработки 200 отверстий рабочие поверхности

сверл исследовали с помощью инструментального микроскопа, измеряя износ по поперечной кромке и задней поверхностях. Опыты повторяли трижды, результаты - усредняли. По завершению цикла обработки на каждой из скоростей платы снимали и осматривали с обеих сторон.

Поскольку во всех экспериментах износ сверл по задней поверхности превышал таковой по поперечной кромке, поэтому в работе на рис. 2 показана динамика износа сверл только по задней поверхности.

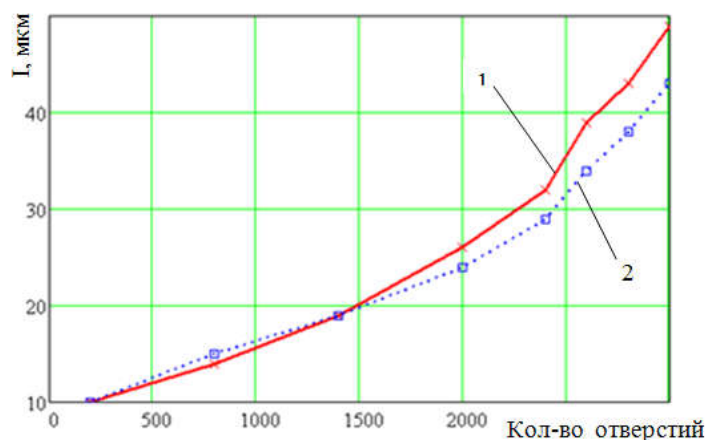


Рис.2 – Зависимость износа сверл I от количества просверленных отверстий в ПП при частоте вращения шпинделя 10000 (1) и 15000 мин<sup>-1</sup> (2)

Анализ результатов свидетельствует о нелинейной зависимости износа от скорости резания. При одинаковых условиях обработки износ сверл до 1400 отверстий практически одинаков, с увеличением количества отверстий (свыше 2100) износ интенсивно увеличивается.

Исследования по установлению влияния подачи на износ сверл производили по описанной выше методике, на следующих технологических режимах:  $n=10000$  мин<sup>-1</sup>, при следующих значениях подач  $S = 0,05$  и  $0,07$  мм/об. Полученные результаты аналогичны представленным на рис 2, поэтому в работе не приводятся. Их анализ свидетельствует о нелинейной зависимости износа от

скорости резания. При одинаковых условиях обработки до 1400 отверстий износ сверл практически одинаков, с увеличением количества отверстий (свыше 2100) износ интенсивно увеличивается.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что на износ сверл оказывают влияние подача, скорость резания и количество просверленных отверстий в ПП. С увеличением количества отверстий (больше 2000) интенсивность износа сверла возрастает, поэтому возникает необходимость замены или переточки сверл.

#### Литература

1. Медведев А. М. Печатные платы. Механическое сверление / А. М. Медведев // Технологии в электронной промышленности - 2012. - № 8. - С. 74-81.
2. Юрков, Н. К. Технология производства электронных средств : учеб. / Н. К. Юрков. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Лань, 2014. – 480 с.
3. The effect of diamond tool performance capability on the quality of processed surface / P.V. Arkhipov, A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov, S.I. Petrushin // Applied mechanics and materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 124–130..
4. Стрельбицкий В. В. Дослідження монтажних напружень у паяних конструкціях мікросвірок / В.В. Стрельбицкий // Вісник Хмельницького національного університету, серія Технічні науки. – 2012. - №2. – С. 42-45.
5. Стрельбицкий В. В. Влияние дефектов крепления блока электронной аппаратуры на вибронпряженность печатных плат / В.В. Стрельбицкий // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012 – № 2 – С.82-85.
6. Стрельбицкий В.В., Зиньковский А.П. Способи зниження вібронпряженності об'єднаних друкованих плат у блоках радіоелектронної апаратури / В.В. Стрельбицкий, А.П. Зиньковский // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. - Львів : Вид-во Нац. ун-ту "Львів. політехніка", 2006. - Вип. 40. - С. 238-241.

#### References

1. Medvedev A. M. Pечатnye platy. Mehanicheskoe sverlenie / A. M. Medvedev // Tehnologii v jelektronnoj promyshlennosti - 2012. - № 8. - S. 74-81.
2. Jurkov, N. K. Tehnologija proizvodstva jelektronnyh sredstv : ucheb. / N. K. Jurkov. – 2-e izd., ispr. i dop. – SPb. : Lan', 2014. – 480 s.
3. The effect of diamond tool performance capability on the quality of processed surface / P.V. Arkhipov, A.S. Yanyushkin, D.V. Lobanov, S.I. Petrushin // Applied mechanics and materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 124–130..
4. Strel'bickij V. V. Doslidzhennja montazhnih napruzhen' u pajanih konstrukcijah mikrosvirok / V.V. Strel'bickij // Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu, serija Tehnichni nauki. – 2012. - №2. – S. 42-45.
5. Strel'bickij V. V. Vlijanie defektov krepnenija bloka jelektronnoj appartury na vibronaprzazhennost' pechatnyh plat / V.V. Strel'bickij // Vimirjuval'na ta obchisljuval'na tehnika v tehnologichnih processah. – 2012 – № 2 – S.82-85.
6. Strel'bic'kij V.V., Zin'kovs'kij A.P. Sposobi znizhennja vibronapruzhennosti ob'ednavchih drukovanih plat u blokah radioelektronnoj aпаратури / V.V. Strel'bic'kij, A.P. Zin'kovs'kij // Avtomatizacija virobnychih procesiv u mashinobuduvanni ta priladobuduvanni. - L'viv : Vid-vo Nac. un-tu "L'viv. politehnika", 2006. - Vip. 40. - S. 238-241.



УДК 681.3.06

С.Д. РАДКЕВИЧ

Національний транспортний університет  
ub5ucr@ukr.net

А.С. ТИХОНОВ

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова  
andrey\_tikhonov@outlook.com**КВАНТОВИЙ ПРИНЦИП ЗАХИСТУ КАНАЛУ ЗВ'ЯЗКУ НА  
ПРЕДСТАВНИЦЬКОМУ РІВНІ МОДЕЛІ OSI**

**Анотація** –Робота присвячена питанням захисту каналів комунікації на різних рівнях моделі взаємодії відкритих систем OSI. Розглянуто особливості квантової криптографії у контексті явища квантової запутаності символів передачі даних по фізичному каналу зв'язку. Зазначено, що методи квантової механіки поступово виходять за рамки фізики, і набувають широкого застосування у різних галузях, наприклад, у математичній лінгвістиці, складовою частиною якої є наука про криптографічний захист змістовної інформації. В роботі запропоновано використати принцип квантової запутаності для шифрування текстів на представницькому рівні моделі OSI. Такий спосіб шифрування розширює можливість передавання службової інформації по відкритих каналах загального користування, а також додатково ускладнить несанкціонований доступ до текстових файлів що передаються по каналах спеціального зв'язку.

**Ключові слова:** захищений канал, квантова запутаність, представницький рівень OSI.

S.D. RADKEVICH

National Transport University  
ub5ucr@ukr.net

A.S. TIKHONOV

Odessa National Academy of Telecommunications O.S. Popov  
andrey\_tikhonov@outlook.com**QUANTUM PRINCIPLE OF SECURE COMMUNICATION CHANNEL AT THE PRESENTATION LEYER OF THE  
OSI MODEL**

**Abstract** - The problems of protecting information are of particular relevance in the modern "digital" society with an open information world. The communication channels correspond to the well-known model of the open systems interconnection OSI, which has seven layers. The first four layers (physical, data link, network and transport) directly relate to the hardware and software of the telecommunication infrastructure (Internet, public telephone network, special communication networks, etc.). Fifth and sixth OSI layers (session and presentation one) can be implemented both by means of the network and on the client side in various ways (for example, the virtual private networks VPN). Though, the seventh layer of applications directly relates to the end users (these can be individuals or electronic devices). The protection of information communication channels between end-users of the network can be carried out at different layers of the OSI model (from physical to application layer). At each of these layers different means and technologies are used, including encryption technology, as well as detecting unauthorized channel listening, and even interference and distortion of the information being transmitted. Recently, considerable attention is paid to the quantum methods of channel protection at the deep physical level. Traditional data transfers are mainly bits. In modern coherent systems, characters of two or more bits are used. With an increase in the speed of the transmission of characters, the probability of errors in receiving characters increases. A certain symbol transmitted via the channel, with some probability, perceived as another symbol (so-called quantum entanglement). Knowing the matrix of quantum entanglement enables symbol recognition and hacker attack detection. As experience of scientific achievements of recent years shows, the methods of quantum mechanics gradually go beyond the scope of physics and become widely used in various fields, for example, in mathematical linguistics, which is part of the science of cryptographic protection of content information. This work aims to apply the principles of quantum entanglement of alphabet characters for cryptographic encoding the texts of ordinary or special professional language at the presentation layer of the OSI model. An effective implementation of such a task simplifies transmission of closed information through public communication channels, as well as increases the security of information in channels of special communication.

**Key words:** channel security, quantum entanglement, presentation layer OSI.

**1. Вступ**

Проблеми захисту телекомунікаційних та інформаційних каналів зв'язку набувають особливості актуальності у сучасному «цифровому» суспільстві з відкритим інформаційним простором. Канали інформаційних комунікацій відповідають відомій моделі взаємодії відкритих систем OSI, у якій виділено сім рівнів, [1]. Перші чотири рівні (фізичний, каналний, мережевий, транспортний) безпосередньо стосуються апаратно-програмних засобів телекомунікаційної інфраструктури (мережа Інтернет, телефонна мережа загального користування, мережі спеціального зв'язку тощо).

П'ятий і шостий рівні (сеансовий та представницький) можуть бути реалізовані як засобами мережі, так і на стороні клієнтів у різні способи (наприклад, за технологією віртуальних приватних мереж VPN, [2]). Натомість сьомий (прикладний) рівень безпосередньо стосується кінцевих абонентів (це може бути людина

або електронний пристрій). Як свідчить досвід наукових досягнень останніх років, методи квантової механіки поступово виходять за рамки фізики, і набувають широкого застосування у різних галузях, наприклад, у математичній лінгвістиці, складовою частиною якої є наука про криптографічний захист змістовної інформації.

*Метою даної роботи є постановка задачі про застосування принципів квантової запутаності символів алфавіту для криптографічного кодування текстів звичайної або спеціальної професійної мови на представницькому рівні моделі OSI.*

Ефективна реалізація такої задачі розширює можливості передавання закритої інформації по каналах зв'язку загального користування, а також підсилить захищеність інформації у каналах спеціального зв'язку.

## **2. Принцип квантового захисту каналу на представницькому рівні**

Захист каналів інформаційної взаємодії між кінцевими абонентами мережі може здійснюватися на різних рівнях моделі OSI (від фізичного до прикладного). На кожному з цих рівнів використовуються різні засоби і технології, у т.ч. числі, технології шифрування, а також виявлення фактів несанкціонованого прослуховування каналу, та навіть, втручання і спотворення інформації що передається, ([3]).

Останнім часом значна увага приділяється квантовим каналам телекомунікацій, які можуть використовувати методи захисту каналу на глибинному фізичному рівні, [4]. Традиційні методи цифрової передачі даних фізичного рівня оперують переважно мінімальною одиницею інформації в один біт, тобто передача здійснюється окремими символами з двома чітко фіксованими станами (умовно нуль та одиниця). Вважається, що на приймальній стороні значення кожного переданого біту ідентифікується адекватно з достатньо малою вірогідністю помилки (наприклад,  $10^{-5}$  або ще менше). У сучасних когерентних системах передачі цифрових даних символи мають більшу інформаційну ємність (наприклад, 2 біти, 4 біти і більше). за умови збільшення швидкості передавання символів, а також зменшення енергії що витрачається на один символ, ймовірність помилки правильного прийому символів поступово зростає, і досягає рівня, який не прийнятний для традиційних алгоритмів і методів кодування. Це явище проявляється у тому, що певний символ  $s \in S$  що передано в канал зв'язку, на приймальній стороні може бути сприйнятим як будь який інший символ  $q \in S$  з деякою вірогідністю  $p(q/s)$ . Матриця  $H(s, q) = \{p(s/q)\}$  яку називають квантовою запутаністю, є об'єктивною характеристикою конкретного фізичного каналу. Цю матрицю можна обрахувати з певною точністю шляхом спеціальних експериментальних досліджень каналу зв'язку, як на етапі його проектування, так і періодично в процесі його експлуатації. Знання матриці квантової запутаності на приймальній стороні каналу дозволяє, по-перше, будувати спеціальні алгоритми ймовірнісного розпізнавання окремих символів, а по-друге, виявляти факти несанкціонованого доступу до каналу зв'язку (які впливають на фізичні властивості каналу і змінюють поточний стан матриці квантової запутаності).

## **3. Висновок**

В роботі проаналізовано принципи квантової криптографії на фізичному рівні на основі матриці квантової запутаності окремих символів, що передаються по каналу зв'язку. запропоновано ідею застосування принципу квантової запутаності для літер алфавіту на представницькому рівні моделі OSI, тобто для спеціального шифрування текстів побутової або професійної мови зі статистичним перекодуванням одних символів у інші. такий механізм шифрування текстів додатково ускладнить процедури і обладнання для несанкціонованого доступу до текстових файлів даних.

## **References**

1. X.800: Security architecture for Open Systems Interconnection for CCITT applications, 1991. – Available at: <http://www.itu.int/rec/T-REC-X.800-199103-I/e> .
2. Virtual Private Networking: An Overview, 2009. – Available at: [https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-2000-server/bb742566\(v=technet.10\)](https://docs.microsoft.com/en-us/previous-versions/windows/it-pro/windows-2000-server/bb742566(v=technet.10)).
3. Ємельянов С.О. Систематизація методів та засобів технічного захисту інформації в телефонних каналах та лініях зв'язку / С.О. Ємельянов // Сучасна спеціальна техніка. – 2011. – № 2 (25). – с. 128–132.
4. Васіліу Є.В. Методи підвищення криптографічної стійкості та збільшення інформаційної місткості протоколів квантової криптографії / Є.В. Васіліу // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. – 2011.

## THE SOFTWARE VERIFICATION ISSUES OF THE NETWORK MAXFLOW PROBLEM

**Abstract** – The software verification is an actual computational problem in the sphere of application programming interfaces (API) development. Among variety of API products, the optimization software occupies an important niche. This work considers the issues of the software verification; namely, the technique of algorithm coding has been taken in this work as the object of study, with particular accent on the software product which targets the optimization tasks solution. A great deal of the optimization tasks is working out there in the network engineering and management realm. The network optimization problem originates from the classic logistics, where the flows of matter products had being transferred from the manufacturer hub (source point S) to consumer hub (target point T). The classic transporting network of logistics is commonly simulated by the so called directed weighted graph (DWG) with the two singular vertices of the graph (S and T). The Maxflow problem took its further impulse in telecommunication networks and systems, and first of all, in the so called software defined networks (SDN). In contrast to conventional algorithms of two-pole Maxflow computation (from the source to the target), a new model has been developed for the three-pole network graph at the Communication Networks Department of A.S. Popov ONAT. The core idea of our approach is that the decomposition of the entire network graph is performed into the set of primitive graphs (e.g. “duplet”, “triangle”, “triget”, “triplet”, “fractal” etc.). The complex Maxflow task algorithm developed in the form of step-by-step analysis of the network graph topology and metrics. This algorithm is performed in Python programming language with the usage of a set of particular cellular algorithms of maximal flow task. The cellular algorithms are embodied by correspondent primitives of cellular program code. Though, the testing of this algorithm is challenging yet. This work aims to fill this niche through the formalizing the software verification problem in terms of space states design for a complex system. The main principles of the complex software verification have been considered. The testing of the Maxflow algorithm is posed here in the context of an abstract space design for the algorithm states. Each point of this space of states corresponds to a particular Python cellular code of maximal flow calculation. The space of the algorithm states is presented in the form of a testing table. The test table has been constructed for testing particular cases of the “Maxflow” algorithm for an arbitrary three-pole network graph up to six vertices. The 3-hop paths are taken as the constraints. Further work on this issue presumes the four and five-hop paths study, along with theoretical foundation the test table completeness.

**Keywords:** software verification, Maxflow algorithm, open network, free oriented graph

V.I. ТИХОНОВ, О.М. ЯВОРСЬКА, В.В. БЕРЕЗОВСЬКИЙ

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова  
victor.tykhonov@onat.edu.ua, yavorskayao7@gmail.com, vasilii.berezovsky@gmail.com

## ВЕРИФІКАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ В ЗАДАЧІ ПРО МАКСИМАЛЬНИЙ ПОТІК МЕРЕЖІ

**Анотація** – В роботі проаналізовано деякі питання щодо тестування програмних продуктів в задачах оптимізації. Розглянуто алгоритм пошуку максимального потоку в мережі, яка представлена відкритим графом з вільно орієнтованими ребрами. Даний алгоритм розроблений на кафедрі мереж зв'язку ім. О.С. Попова у середовищі програмування Python. Задача тестування для алгоритму максимального потоку сформульована в контексті побудови абстрактного простору для станів алгоритму. Кожна точка цього простору станів відповідає певному коду Python для обчислення максимального потоку. Простір станів алгоритму представлений у вигляді тестової таблиці для простору станів алгоритму.

**Ключові слова:** тестування програмного продукту, алгоритм максимального потоку, відкрита мережа, вільно орієнтований граф.

### Introduction

The software verification is an actual computational problem in the sphere of application programming interfaces (API) development. Among variety of API products, the optimization software occupies an important niche. In this work, a well-known optimization problem considered of maximal data flow provision in the software defined networks (SDN). A brief history of the Maxflow problem is highlighted in [1] for transportation systems. One of the first Maxflow task statement was made by T. E. Harris ([2], 1955), while L. Ford and D. Fulkerson firstly proposed a method for solving this problem ([3], 1956). A lot researches and publications followed the fundamental results [4] on Maxflow algorithm design ([5]). However, construction a relevant computational algorithm for Maxflow task solution is challenging yet. Among those issues related to Maxflow problem, the process of the software testing is a key point for general method verification.

*This work aims to formalize the software verification problem in terms of space statement definition for a complex system.*

## Maxflow algorithm

Commonly, the Maxflow task is formulated on a two-pole weighted graph. The complexity of network flow optimization increases rapidly with the growth of the network poles number. Known algorithms of Maxflow task primarily operate with the two-pole directed weighted graphs, wherein one pole is a unique source vertex (denote S); another one is a single target vertex (denote T). One of the first statements of Maxflow problem towards a multi-pole open network graph presented in [6] for a telecom transporting network, with particular focus on the 3-pole free-oriented network graph in the concept of SDN architecture.

The core idea of this approach is decomposition of the entire network graph in simple primitive graphs (called “duplet”, “triangle”, “triget”, “triplet”, “fractal” etc.). The complex Maxflow task algorithm developed in the form of consequent analysis of the network graph topology and metrics. This algorithm is performed in Python programming language with the usage a set of particular *cellular algorithms* of maximal flow task. The cellular algorithms embodied by related primitives of *cellular program code*.

The problem of finding the maximum flow is considered on the example of a typical structural primitive, which is called “fractal”, (Fig. 1). Fractal is a weighted graph of six vertices with freely oriented edges. The topology of a fractal is, in general, fully connected with three open vertices (named “poles” of a graph). Three poles (with numbers 1, 2, 3) are connected to the surrounding network by three open (external) edges (denoted as a1, a2, a3). Three internal vertices (designated 4, 5, 6) form the internal structure of the graph using 15 internal edges. All edges are divided into categories; in each category there are 3 edges.

The categorization of edges aids logical structuring the Maxflow algorithm, as well as facilitates construction smart program code and reduces the risk of coding errors. In total, there are 6 types of edges in the fractal:

- “a”: open (external) edges;
- “b”: shortest (one-step) edges between poles of a fractal (poles-triangle of the fractal);
- “c”, “d”: edges on the ring of the fractal;
- “s”: edges connecting the poles to the inner vertices of the fractal;
- “h”: edges connecting the internal vertices of the fractal (inner triangle of the fractal).

The Maxflow task on the fractal graph is formulated the following way:

$$f_{max} = f_1 + f_2 + f_3 \quad (1)$$

where  $f_1, f_2, f_3$  are the so called outer transit flows of digital data between the pairs of the three poles (regardless the data flow directions). Apart from the overall maximal flow, all the Maxflow partial components  $f_1, f_2, f_3$  are to be obtained, as well as the distribution of these partial components among the internal fractal edges. The outer constraints of the fractal Maxflow are determined by the three open edges of category “a”:

$$f_2 + f_3 \leq a1; \quad f_1 + f_3 \leq a2; \quad f_1 + f_2 \leq a3 \quad (2)$$

The Maxflow task is reduced to the set of primitive tasks related to particular graph cells: triget and triplet. The general algorithm of the Maxflow task solution for the fractal network graph is shown in Fig.2. The algorithm includes three functional modules: Triget, Triplet and Hop3flow. Table 1 presents the space of the Maxflow algorithm states.

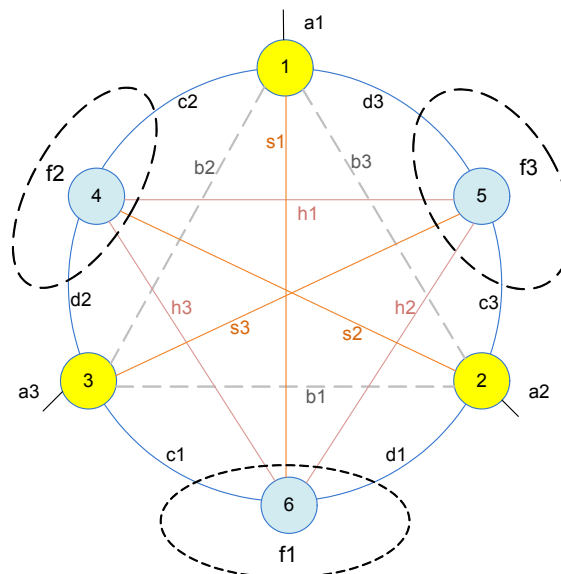


Fig.1 – The structure of fractal graph

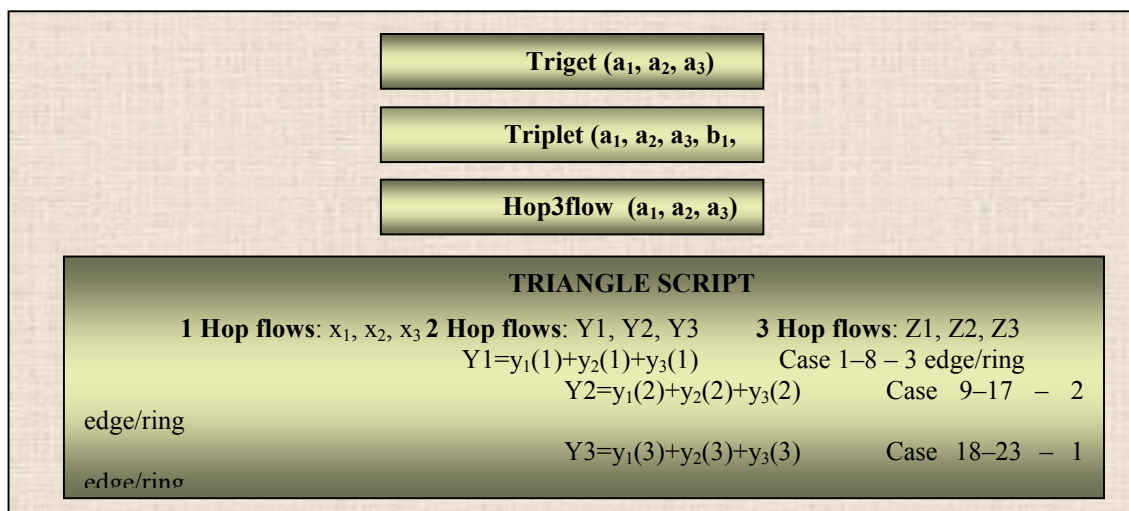


Fig.2 – The architecture of the fractal Maxflow algorithm

Table. 1 – The states of the Maxflow algorithm

№	Flow	b1	b2	b3	c1	c2	c3	d1	d2	d3	s1	s2	s3	h1	h2	h3
Case1	z1, z2, z3	1	1	1	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Case2	z2	1	1	1	3	3	1	1	1	3	1	1	1	1	3	1
...																
Case 9	z3	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	3	1	1
...																
Case 18	z3	1	1	1	1	1	3	1	1	1	3	1	1	1	3	1
...																
Case 24.4	z1, z2, z3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3

### Conclusion

In this paper, the principles of the complex software verification considered. The test table constructed for testing a particular case of the "Maxflow" algorithm for the three-pole open network graph computation with 3-hop paths constraint. Further work on this direction presumes the four and five hop paths study, along with theoretical foundation the test table completeness.

### References

- Schrijver I.A. On the history of the transportation and maximum flow problems / Available at: <https://homepages.cwi.nl/~lex/files/histtrpclean.pdf>.
- Harris T.E. Fundamentals of a Method for Evaluating Rail Net Capacities / T.E. Harris, F.S. Ross // Research Memorandum RM-1573, The RAND Corporation, Santa Monica, California, 1955.
- Ford L. R. Maximal flow through a network / L. R. Ford, D. R. Fulkerson // Canadian Journal of mathematics. – 1956. – N 8(1956). – p. 399-404.
- Dimitri P. Bertsekas. Network Optimization: Continuous and Discrete Models. – Belmont: Athena Scientific, 1998. – 585 p.
- Varun Ramesh. Max-flow Min-cut Algorithm in Spark with Application to Road Networks / Varun Ramesh, Shivaneer Nagarajan, Saswati Mukherjee // 7th EAI International Conference on Big Data Technologies and Applications. – 2016. – p. 12–22.
- Tykhonova O.V. The Maxflow problem analysis on free-oriented network graph / O.V. Tykhonova // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2018. – № 1. – P. 139–143.

И.Л. АФОНИН, В.В. ГОЛОВИН, Ю.Н. ТЫЩУК  
 ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь  
 E-mail: Igor\_Afonin@inbox.ru; v\_golovin@mail.ru; y.tyschuk@gmail.com

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЫ ДЛЯ МОРСКИХ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ

**Аннотация.** Приведены основные характеристики турбулентных неоднородностей и представлены две модели атмосферы в приводном слое для расчета морских каналов связи.

**Ключевые слова:** статистическая модель, Гауссова модель, турбулентные неоднородности, корреляционная функция, система морской радиосвязи.

I.L. AFONIN, V.V. GOLOVIN, YU.N. TYSCHUK  
 FSAEI HE «Sevastopol State University», Sevastopol  
 E-mail: Igor\_Afonin@inbox.ru; v\_golovin@mail.ru; y.tyschuk@gmail.com

### STATISTICAL MODEL OF TURBULENT ATMOSPHERE FOR MARINE RADIO COMMUNICATION SYSTEMS

**Annotation.** On the sea paths, the practical using of the VHF band (along with the HF band), including centimeter and millimeter waves, has significantly increased. The use of these ranges of radio waves is caused by the need to ensure high reliability of radio communication within the line of sight, especially in the presence of a large number of vessels. Under normal conditions, the propagation of ultrashort waves is significantly influenced by the atmospheric above-water layer, the main characteristic of which is the refractive index  $n(x, y, z, t)$  and its altitude profile  $n(h)$ , where  $h$  is the altitude reckoned from the mean sea level. On the sea paths, inversion layers are observed, which lead to the phenomenon of superrefraction, while the propagation of electromagnetic waves occurs as in a spherical waveguide. Along with atmospheric waveguides, inhomogeneities of the refractive index are formed in the above-water layer due to the turbulent motion of air masses, which lead to the scattering of radio waves. Thus, along with regular changes in the refractive index  $n$  with height  $h$ , fluctuations in the refractive index at inhomogeneities will occur, and consequently, the value of  $n$  must be considered as a random function of three dimensional coordinates and time.

The report presents two models of turbulent inhomogeneities that allow one to determine the fluctuations in the amplitude and phase of the electromagnetic waves passing through the atmosphere above-water layer.

Taking into account the first approximation of the Rytov method, which, under the certain condition, agrees with the geometrical-optical method and allows one to determine the random variations in the phase of the wave due to the presence of large-scale inhomogeneities, formulas are derived for the phase dispersion and the correlation function for the Gaussian model of the turbulent atmosphere, which showed complete agreement with fluctuations in the refractive index.

It is shown that the proposed method for determining of the phase fluctuations for the plane electromagnetic waves allows one to consider real antennas for which elementary radiators (Hertzian electric dipole or the Huygens element) create the spherical waves.

Keywords: statistical model, Gaussian model, turbulent inhomogeneity, correlation function, marine radio communication system.

В обычных условиях ультракороткие электромагнитные волны не отражаются от ионосферы и на их распространение существенное влияние оказывает надводный слой атмосферы, основной характеристикой которого являются показатель преломления  $n(x, y, z, t)$  и его высотный профиль  $n(h)$ . На морских трассах наблюдаются инверсионные слои, которые приводят к явлению сверхрефракции. Наряду с атмосферными волноводами в приводном слое образуются неоднородности показателя преломления  $n(x, y, z, t)$ , обусловленные турбулентным движением воздушных масс, которые приводят к рассеянию радиоволн. Таким образом, в надводном слое атмосферы величину  $n$  необходимо рассматривать как случайную функцию пространственных координат и времени, определяя флуктуацию показателя преломления  $n_1$  с помощью отношения

$$n_1(x, y, z, t) = \langle n(x, y, z, t) \rangle - n(x, y, z, t), \quad (1)$$

где под средним значением  $n(x, y, z, t)$  понимается:

- его среднее значение по времени, которое характеризует стационарность случайного процесса;
- среднее значение по пространству и характеризует однородность поля.

Как показывают экспериментальные исследования [1, 2] флуктуации показателя преломления  $n_1(x, y, z, t)$  носят нестационарный и неоднородный характер.

Математический аппарат для описания флуктуаций  $n_1(x, y, z, t)$  применяется для следующих случаев: когда  $\overline{n(t)} = const$ , то флуктуации  $n_1(x, y, z, t)$  являются стационарным случайным процессом (ССП); когда  $\overline{n(t)} \neq const$ , то используется теория для СПП, но имеющих стационарные приращения (СПСП).

По аналогии с вышеизложенным рассматриваются однородные случайные поля (ОСП), то есть проводится анализ пространственных флуктуаций  $n_1(x, y, z)$  и ОСП со стационарным приращением. Рассмотрим наибольшие размеры неоднородности, которые соизмеримы с размером исходного воздушного потока и примем их обозначение как  $L_0$ . Выделим мелкомасштабные локально-изотропные неоднородности с внутренним масштабом  $l_0$ , тогда возможные размеры неоднородностей принимают значения в интервале

$$l_0 \ll l_{\text{тип}} \ll L_0.$$

Приведем основные соотношения для данных моделей атмосферы.

**Гауссова модель.** В реальных условиях образуется несколько турбулентных неоднородностей, однако для практических расчетов используется один масштаб турбулентности. При этом спектр плотности пространственных волновых чисел  $\chi$  для флуктуаций  $n_1(r, t)$  принимает вид

$$S(\chi) = \langle n_1^2 \rangle \frac{r_0^3}{8\pi\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{r_0^2 \chi^2}{4}\right),$$

где  $r_0$  — пространственный радиус корреляции флуктуации  $n_1(r, t)$ .

Спектральной плотности  $S(\chi)$  соответствует корреляционная функция

$$R_{\text{пл}} = \langle n_1^2 \rangle \exp\left(-\frac{r^2}{r_0^2}\right).$$

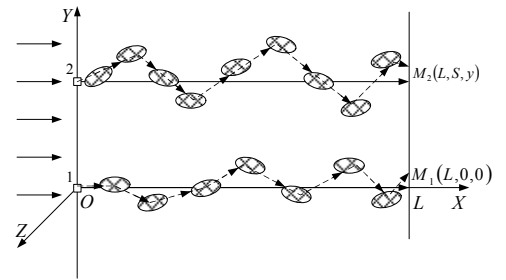


Рис. 1

**Колмогоровская модель.** Для данной модели применяются структурные функции при описании флуктуаций  $n_1(r, t)$  [1]. Спектральная плотность для этой модели  $S(\chi)$  хорошо изучена в инерциальной области значений  $\chi$

$$\frac{2\pi}{L_0} \ll \chi \ll \frac{2\pi}{l_0}$$

и определяется соотношением

$$S(\chi) \approx 0,033 C_{n1}^2 \chi^{-\frac{11}{3}},$$

где  $C_{n1}^2$  — структурная постоянная  $n_1(r, t)$ .

В области диссипации используются соотношения вида

$$S(\chi) \approx \chi^{-\frac{11}{3}}; \quad S(\chi) \approx \exp\left(-\frac{\chi^2}{\chi_d^2}\right),$$

где  $\chi_d = \frac{5,92}{l_0}$ .

С учетом изложенного предложена следующая формула для численных расчетов в виде

$$S(\chi) = 0,033 C_{n1}^2 \chi^{-\frac{11}{3}} \exp\left(-\frac{\chi^2}{\chi_d^2}\right). \quad (4)$$

Таким образом, соотношение (4) достаточно правильно описывает  $S(\chi)$  в инерциальной области и является приближенным в диссипативной области. В результате Фурье-преобразования  $S(\chi)$  с использованием (3) и (4) получим для структурных функций  $D_{n1}(r)$  следующие соотношения:

$$D_{n1}(r) = C_{n1}^2 r^{\frac{2}{3}}, \text{ при } L_0 \gg r > l_0; \quad (5) \quad D_{n1}(r) = C_{n1}^2 l_0^{\frac{2}{3}} \left(\frac{r^2}{l_0^2}\right), \text{ при } r \ll l_0. \quad (6)$$

Сведения о масштабах  $l_0$ ,  $L_0$ ,  $C_{n1}^2$  можно получить для реальных трасс только из экспериментальных данных.

Далее в качестве примера рассмотрим применение Гауссовой модели турбулентной атмосферы для определения флуктуаций фазы электромагнитной волны, прошедшей слой атмосферы. Для этого воспользуемся первым приближением метода Рытова [2], которое при выполнении условий

$$l_{\text{турб}} \gg \lambda; \quad \sqrt{\lambda L} \ll l_{\text{турб}},$$

где  $L$  — длина трассы, совпадает с геометрическим методом и позволяет определить случайные изменения фазы волны, обусловленные наличием крупномасштабных неоднородностей в виде

$$\varphi(x, y, z) = kx + k \int_0^L n_1(x', y, z) dx', \quad (7)$$

где все обозначения показаны на рисунке 1.

В соотношении (7) первое слагаемое определяет постоянную фазу волны, равную  $\varphi_0 = kL$ . Особый интерес представляет второе слагаемое в (7)  $\varphi_1 = k \int_0^L n_1(x', y, z) dx'$ , зависящее от флуктуаций  $n_1(x', y, z)$ .

Для дисперсии  $\sigma_\varphi^2$  можно получить следующую формулу  $\sigma_\varphi^2 = \langle \varphi_1^2 \rangle - \langle \varphi_1 \rangle^2 = \sqrt{\pi} k^2 L r_0 \langle n_1^2 \rangle$ .

При определении функции корреляции  $R_\varphi(S)$  воспользуемся спектральной плотностью  $S(\chi)$  следующим образом.

С учетом обозначений на рисунке 1 можем получить следующее выражение

$$R_\varphi(S) = \langle \varphi_1 \varphi_2 \rangle = k^2 \int_0^L dx_1 \int_0^L dx_2 \langle n_1(x_1, 0, 0) n_2(x_2, y_2, z_2) \rangle dx_2, \quad (8)$$

где  $\langle n_1(x_1, 0, 0) n_2(x_2, 0, S) \rangle = R_{n1}(x_1 - x_2, S)$  — корреляционная функция флуктуаций  $n_1(x, y, z)$ .

После подстановки  $R_{n1}$  в (8) и новой переменной  $\xi = x_1 - x_2$ , получим

$$R_\varphi(S) = 2k^2 L \int_0^\infty R_{n1}(\xi, S) d\xi, \quad (9)$$

где

$$R_{n1}(\xi, S) = 2\pi \int_0^\infty S(\chi, \xi) J_0(\chi \xi) \chi d\chi. \quad (10)$$

После подстановки (10) в (9) и интегрирования по  $d\xi$  получим выражение

$$R_\varphi(S) = \sigma_\varphi^2 \exp\left(-\frac{S^2}{r_0^2}\right). \quad (11)$$

Полученное соотношение (11) и его сравнение с формулой (3) показывает, что пространственная корреляция флуктуаций фазы полностью зависит от  $R_{n1}$ , а их радиусы корреляции совпадают.

### Выводы

На основании проведенного исследования статистических моделей атмосферы для морских трасс можно сделать следующие выводы:

— обоснованы две модели турбулентных неоднородностей, позволяющие определить флуктуации амплитуды и фазы электромагнитной волны, проходящей через слой атмосферы.

— выведены формулы для дисперсии фазы  $\sigma_\varphi^2$  и корреляционной функции  $R_\varphi(S)$  для Гауссовой модели, которые показали полное соответствие с флуктуациями показателя преломления  $n_1(r)$ .

— предложенная методика определения фазовых флуктуаций для плоской электромагнитной волны позволяет рассматривать реальные антенны, для которых элементарные излучатели (диполь Герца или элемент Гюйгенса) создают сферическую волну. Следовательно, далее необходимо определить фазовые флуктуации сферической электромагнитной волны, прошедшей слой атмосферы.

### Список литературы

1. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику / С.М. Рытов. — М.: Радио и связь, 1976. — Ч.1. — 494 с.
2. Лобкова Л.М. Распространение радиоволн над морской поверхностью / Л.М. Лобкова. — М.: Радио и связь, 1991. — 256 с.

### References

1. Rytov S.M. Vvedenie v statisticheskuyu radiofiziku / S.M. Rytov. — M.: Radio i svyaz', 1976. — CH.1. — 494 s.
2. Lobkova L.M. Rasprostranenie radiovoln nad morskoy poverhnost'yu / L.M. Lobkova. — M.: Radio i svyaz', 1991. — 256 s.



**ВДОСКОНАЛЕННЯ АЛГОРИТМ ФРАКТАЛЬНОГО СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ  
ВИСОКОЇ І НАДВИСОКОЇ ЧІТКОСТІ**

*Аннотация*—Вработе пропонується модифікація алгоритмів фрактального стиснення для зображень високої і сверхвисокої чіткості. Було запропоновано використовувати мозаїчний алгоритм фрактального стиснення в адаптивних схемах розбиття зображення на рангові блоки в якості критерію переходу на інший рівень розбиття середнє відхилення (СКО) яскравості пікселів рангів замість середньоквадратичної помилки порівняння рангів і доменів.

Використання нового критерію дозволяє безпосередньо сформувати схему розбиття зображення на ранги, без виконання численних порівнянь рангів і доменів. Розроблено мозаїчна схема розбиття з перекриваючими ранговими блоками. Використання цієї схеми дозволяє зменшити блоковий ефект і збільшити ступінь стиснення у порівнянні з найбільш поширеним методом квадрато дерева.

Обґрунтовано використання в якості критерію оптимальності при порівнянні рангу і домена коефіцієнта кореляції блоків замість середньоквадратичної метрики. Застосування нового критерію спричинило за собою зміну алгоритму порівняння блоків, в результаті чого швидкість фрактального стиснення зросла більш ніж в 16 разів.

Також збільшилася якість відновленого зображення, значно зменшився блоковий ефект, швидкість відновлення зображення також зросла в два рази.

Обґрунтовано достатня умова збіжності до нерухомих точок процесу відновлення зображення, стиснутого фрактальним способом. Розглянуто розподіл координат центрів мас доменів на полярній площині з точки зору їх кореляції з рангами, тобто з точки зору критерію оптимальності. Експериментально показано, що добре корельовані рангові та доменні блоки можуть перебувати в просторово рознесених частинах зображення.

В результаті розроблено нові алгоритми класифікації блоків зображення по полярному куту центрів мас блоків. Використання класифікації дозволило прискорити фрактальне стиснення в 6-12 разів в залежності від зображення в порівнянні з повним перебором доменів без візуально помітної деградації якості відновленого зображення.

*Ключевые слова:* фракталы, сжатие, пространственная частота, четкость, отношение сигнал/шум.

V.V.AMUROV, M.O. PATLAYENKO  
A.S. Popov Odessa national academy of telecommunications

**IMPROVING ALGORITHMS OF FRACTAL COMPRESSION OF IMAGES OF HIGH AND SUPER-HIGH  
DEFINITION**

*Annotation*—In this paper, we propose a modification of fractal compression algorithms for images of high and ultra-high definition. It was suggested to use a mosaic algorithm for fractal compression in adaptive schematics of image partitioning on rank blocks as a criterion for switching to another level of partitioning the mean deviation (RMS) of the brightness of pixel ranges instead of a rms error in the comparison of ranks and domains. Using the new criterion allows you to directly form a pattern of splitting the image into ranks, without performing numerous comparisons of ranks and domains. A mosaic partitioning scheme with overlapping rank blocks is developed. Using this scheme reduces the block effect and increases the compression ratio compared with the most common quad tree method. The use as the criterion of optimality for the comparison of the rank and the domain of the coefficient of correlation of the blocks is substantiated instead of the mean square metric. The application of the new criterion led to a change in the algorithm of the comparison of the blocks, which resulted in the fractal compression rate increased by more than 16 times. Also, the quality of the restored image has increased, the block effect has significantly decreased, the image recovery speed has also doubled. A sufficient condition for convergence to a fixed point of the image restoration process contracted in a fractal way is substantiated. The distribution of coordinates of centers of masses of domains on a polar plane from the point of view of their correlation with ranks, that is, from the point of view of the optimality criterion, is considered. It has been experimentally shown that well-correlated ranking and domain blocks can be located in spatially spaced parts of the image. As a result, new algorithms for the classification of image blocks by the polar angle of centers of mass units have been developed. The use of the classification allowed to accelerate fractal compression in 6-12 times depending on the image as compared to the complete overview of the domains without visually noticeable degradation of the quality of the restored image.

*Keywords:* fractals, compression, spatial frequency, clarity, signal-to-noise ratio, Fourier regions.

Телебачення HDTV і UHDTV з повною теоретичною чіткістю 3840 елементів і 2160 рядків (рис. 1) можливо тільки, якщо стартувати від камери зі значно більшою роздільною здатністю і подальшою цифровою фільтрацією. Через оптичних ефектів контраст може бути не оптимальним і наближатися до нуля задовго до досягнення частоти Найквіста на дисплеї. При здійсненні фільтрації Фур'є аналізом виникає нерівномірність АЧХ тим самим на кордонах з'являються переходи типу помилкові кордону. Для усунення ефекту змазування кордонів застосовую фрактальний аналіз, так як енергія рівномірно розподіляється по всьому спектру (рис. 2).



Рис 1 – Початкове зображення



Рис 2 – Після фрактальногостисненняСКВ = 0,007

Тестове зображення піддається фільтрації по горизонталі і вертикалі КИХ фільтрами розділяючи вихідне зображення на складові детальності зображення апроксимаційних, деталі по вертикалі, горизонталі, діагоналі таке розбиття здійснюється до тих пір поки ми в низькочастотній області не отримаємо одну постійну складову, такий процес називається глибиною декомпозиції. Далі кожен ранговий блок піддається квантування коефіцієнтів кожен рівень вибирається таким чином, що для високочастотних компонент вибирається рівні квантування найменші, а для низькочастотних рівнів вибирається найбільший рівень квантування.

Також було проведено порівняння між первинним тестових зображень та зображеннями зі стисненням при поступовій змінні середньоквадратичного відхилення (СКВ).

Експериментально доведено, що параметричний алгоритм дозволяє стискати зображення в десятки разів швидше за часом, при однакових параметрах налаштування алгоритмів, ніж базовий.

При збільшенні числа рангових блоків час кодування зменшується, та при збільшенні похибки – якість зображення знижується.

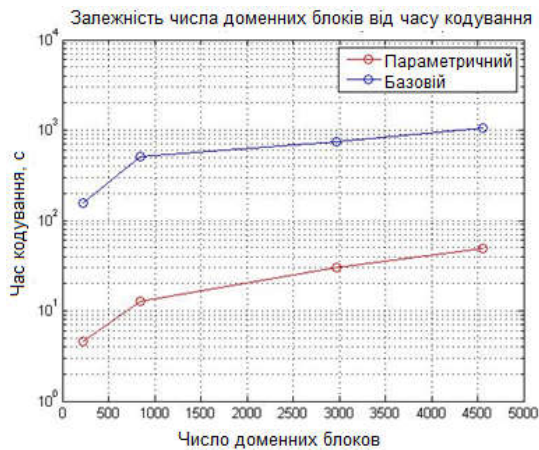


Рис.3 – Залежності числа доменних блоків від часу кодування

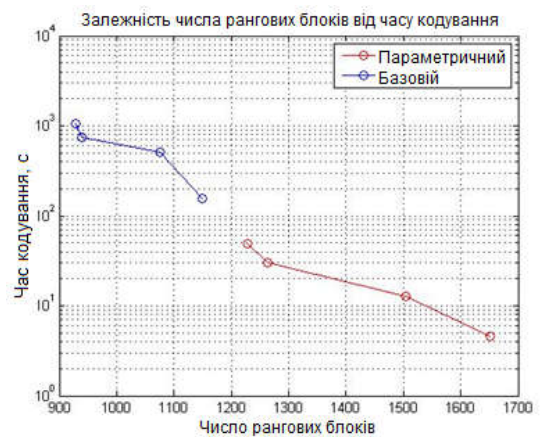


Рис. 4 – Залежності числа рангових блоків від часу кодування

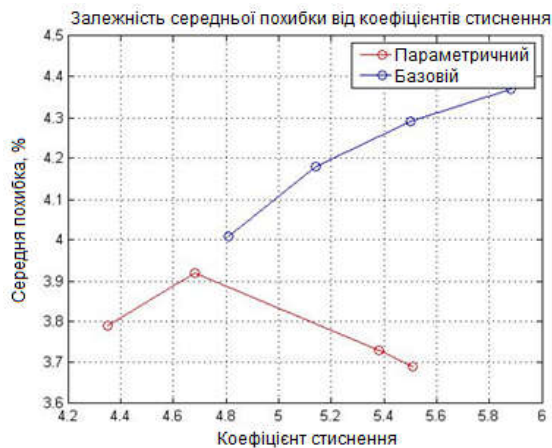


Рис. 5 – Залежності числа рангових блоків від часу кодування

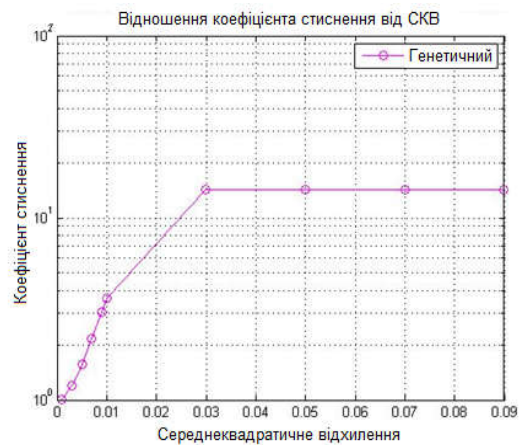


Рис.6 – Відношення коефіцієнта стиснення від СКВ

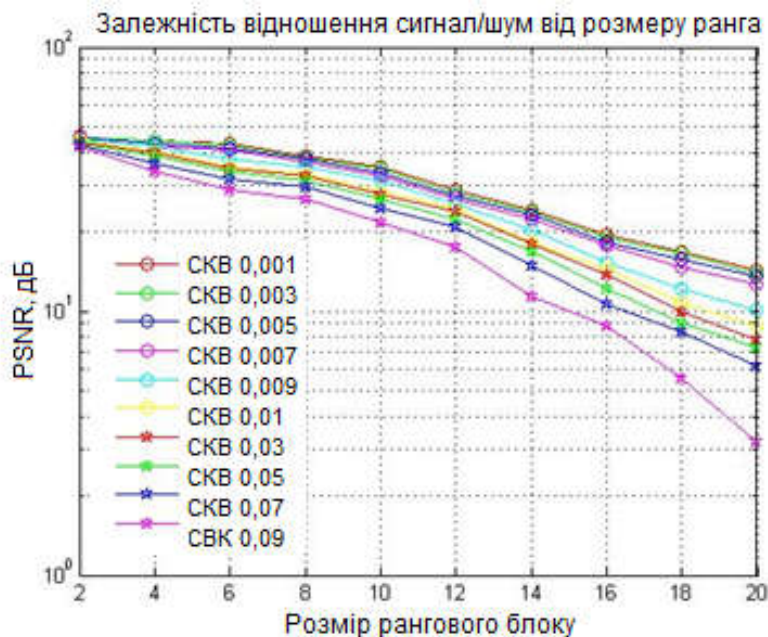


Рис. 6 – Залежність відношення сигнал/шум від розміру ранга

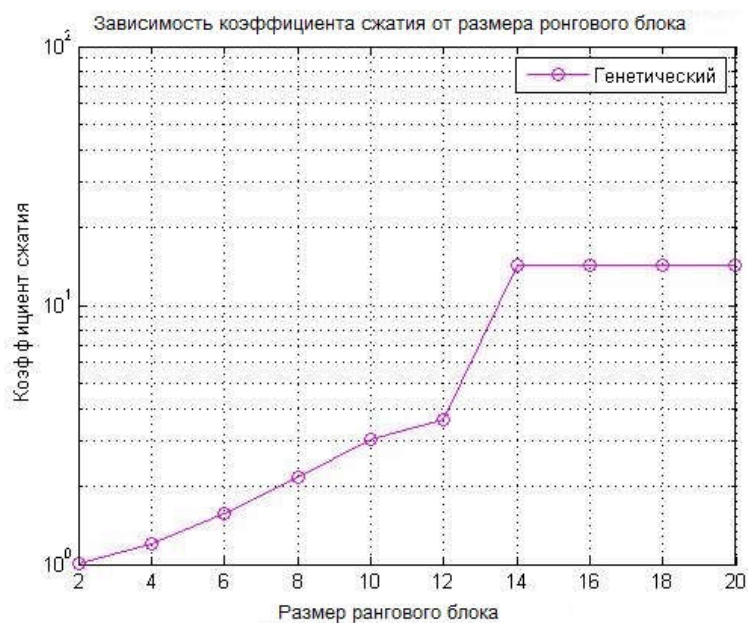


Рис. 7 – Відношення коефіцієнта стиснення від СКВ

Результат дослідження показав, що відношення сигнал / шум збільшилися на 15 dB по відношенню з розбивкою класичним при використанні перетворення Фур'є.

### Література

1. Патлаенко Н.А. Анализ методов стиснення цифрових відео послідовностей у телевізійних систем./ Н.А. Патлаенко, В.И. Солodka, Арделян М.И. // Цифрові технології №12 2012г. с. 117 – 122.
2. 68 науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, науковців, аспірантів та студентів: Патлаенко Н.А. Анализ методов сжатия цифровых изображений с помощью фрактальных преобразований. – Одеса 2013.

### References

3. Patlaenko N.A. Analiz metodiv stisnennya tsifrovih vIdeo poslIdovnostey u televIzIynih sistem./ N.A. Patlaenko, V.I. Solodka, Ardelyan M.I. // TsifrovI tehnologIYi #12 2012g. s. 117 – 122.
4. 68 naukovO-tehnIchna konferentsIya profesorsko-vikladatskogo skladu, naukovtsIv, aspIrantIv ta studentIv: Patlaenko N.A. Analiz metodov szhatiya tsifrovyyih izobrazheniy s pomoschyu fraktalnyih-preobrazovaniy. – Odesa 2013.

Н.М. БАЛАН, А.С. КОЛЬЦОВА  
Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,  
ГП «УНИИРТ»  
balan 1@i.ua, ot.del.13r@gmail.com

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ DRM ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ИНОВЕЩАНИЯ ПРОГРАММ УКРАИНСКОГО РАДИО

*Определяются основные задачи, которые необходимо решить для развития иновещания украинских радиопрограмм с помощью цифровой технологии Digital Radio Mondiale (DRM), поскольку организация вещания программ звукового вещания на территории других государств на сегодняшний день отнесена к национальным интересам Украины в информационной сфере.*

*Ключевые слова: иновещание, технология DRM, зона покрытия, режим передачи, инфраструктура аналогового вещания*

N.M. BALAN, A.S. KOLTSOVA  
Odessa national academy of telecommunication n.a. A.S. Popov, State Enterprise «UNIIRT»

## USAGE OF DRM DIGITAL BROADCASTING TECHNOLOGY FOR ORGANIZATION OF FOREIGN SERVICE OF UKRAINIAN RADIO PROGRAMS

*The development of foreign broadcasting service is one of the main tasks for today for enhancing the informational security of Ukraine. The delivery of broadcasting content of ukrainian programs can be implemented by different ways: using terrestrial broadcasting infrastructure of Ukraine, which is intended for the use of analogue AM technology or to use the technology of satellite broadcasting.*

*Viewed in this way, it is reasonable to consider the possibility of introducing digital DRM broadcasting technology for deployment of the foreign broadcasting service of Ukrainian radio. Though DRM technology have been used for certain time by world's broadcasting companies, in Ukraine DRM still doesn't have practical implementation on a regular basis. The advantages of this technology – enhanced audio quality compared to the quality provided in analogue AM broadcasting, and less expenses on deployment compared to the satellite broadcasting technology, especially taking into account the possibility of usage of existing infrastructure of analogue sound broadcasting.*

*For the successful start of programs transmission in DRM technology it is necessary to carry out the preliminary studies on determination of transmitter/transmission network characteristics and corresponding planning parameters (especially the values minimal useful field strength and radio-frequency protection ratio) with respect of available frequency channels, which can be used for DRM broadcasting purposes.*

*In this paper the main tasks are determined, which have to be solved for the development of foreign broadcasting of Ukrainian radio programs using Digital Digital Mondiale (DRM) technology.*

**Keywords:** *broadcasting foreign service, DRM technology, coverage area, transmission mode, analogue broadcasting infrastructure.*

На сегодняшний день возросла актуальность вопроса об организации иновещания украинских программ на территории других государств. Это подтверждается и утвержденной Указом Президента Доктрине информационной безопасности Украины [1], в соответствие с которой развитие системы иновещания отнесено к национальным интересам в информационной сфере.

Традиционно для ведения иновещания использовались радиоканалы диапазонов ВЧ и СЧ (коротких и средних волн), а позднее задействованы технологии спутникового и Интернет-вещания.

Следует отметить, что в результате значительного развития локального вещания в странах мира как с использованием FM-службы в диапазоне ОВЧ, так и новых цифровых вещательных технологий (DAB/DAB+/DMB и HD-Radio) интерес слушателей к приему радиопрограмм на средних и коротких волнах несколько снизился. Однако, как показывает опыт крупных вещательных компаний, таких как BBC, Deutsche Welle, Radio Vatican и др., передача радиопрограмм в диапазонах до 30 МГц имеет значительную слушательскую аудиторию. Программы Всемирной службы BBC 60% аудитории принимает по средне- и коротковолновым радиоканалам [2].

Вещание в указанных диапазонах ведется как в аналоговом режиме с АМ, так и в цифровом с использованием технологии DRM. Вещательные компании для передачи своих программ для иностранной аудитории все больше используют технологию DRM, поскольку с ее помощью можно обеспечить значительное повышение качества звучания по сравнению с аналоговым вещанием. Качество, оцениваемое как «эквивалентное хорошему качеству FM вещания» может быть обеспечено на территории зоны покрытия с достаточно большой площадью [2, 3]. Еще одним привлекательным аспектом для вещателей является то, что DRM вещание в коротковолновом диапазоне рассматривается как альтернатива спутниковому вещанию, не требующая таких существенных финансовых затрат на развитие инфраструктуры [2]. Удобством для слушателя является возможность автоматического переключения в цифровых приемниках частоты вещания при ее изменении [2, 3], а также режим работы приемника, позволяющий при наличии нескольких источников одной и той же программы в текущий момент выбирать и обрабатывать сигнал с наилучшими характеристиками (функция AFS – Alternative Frequency Switching) [3]. Отметим, что технология DRM изначально разрабатывалась с целью осуществления передачи в цифровом виде программ звукового

вещания и дополнительных данных в частотных полосах диапазонов до 30 МГц, выделенных для аналогового вещания, без необходимости частотного перепланирования. Ширина полосы частот, выделенной для работы одной радиовещательной станции, составляет 4,5; 9 либо 18 кГц для длинно- и средневолновых диапазонов и, соответственно, 5; 10 либо 20 кГц для коротковолнового диапазона. При этом, в отличие от практики аналогового вещания, программы передаются в стереофоническом формате, имеется возможность передачи до четырех программ в одном цифровом потоке, а благодаря применению в DRM новой технологии кодирования xHE-AAC вещатели могут осуществлять передачу программ в формате многоканального звука при низких скоростях цифрового потока [3].

В технологии DRM предусмотрено использование различных режимов передачи в соответствии с возможными условиями распространения радиосигналов в вышеуказанных диапазонах, что обеспечило ей достаточно высокую степень «гибкости», позволяющую обеспечить приемлемое качество принимаемых программ даже в неблагоприятных условиях. Для каждого значения ширины полосы частот канала установлены значения параметров, позволяющие обеспечить эффективность передачи [3], которая определяется компромиссом между полезной скоростью передачи звуковых данных и устойчивостью к воздействию помех. Это параметры двух типов: во-первых – скорость корректирующего кода в сочетании с кратностью используемой модуляции для передачи данных, и во-вторых – параметры OFDM символа, используемые в зависимости от условий распространения радиоволн.

Вариант использования для вещания украинских программ для зарубежной аудитории технологии DRM является оптимальным с точки зрения как технических характеристик системы передачи, так и практического опыта иновещания мировых вещательных компаний.

Однако, следует отметить, что использование коротковолнового диапазона для цифрового радиовещания, по сравнению с другими диапазонами, наиболее критично и ставит особые требования к величине замирания сигнала относительно стандартного уровня, поскольку если при АМ-вещании замирание сопровождается увеличением уровня шумов в канале и ухудшением разборчивости, то в цифровом радиовещании при снижении уровня сигнала ниже порогового прием становится невозможным. Это обстоятельство требует обеспечения дополнительного запаса мощности излучаемого сигнала.

Важной особенностью переходного периода внедрения радиовещания в системе DRM является совмещение аналоговой и цифровой передачи, вплоть до полного перехода на сугубо цифровое вещание.

На первом этапе внедрения информационного вещания с использованием DRM целесообразно проведение исследовательских работ по изучению взаимного влияния аналогового и цифрового каналов, по выбору режимов передачи для разных диапазонов с учетом возможных условий распространения радиоволн и уточнению параметров планирования. Рекомендации касательно параметров планирования приведены в соответствующем документе МСЭ [4], однако, как показал практический опыт ведения DRM передач, эти данные нуждаются в уточнении. Прежде всего, это относится к такому параметру планирования как минимальная используемая напряженность поля в месте приема, а также уточнение необходимо для значений защитных отношений по радиочастоте при различных размещениях аналоговых и цифровых каналов в выбранном диапазоне. На основании уточненных данных по параметрам планирования обосновывается выбор необходимой мощности излучения при вещании на заданную территорию.

Положительным фактором DRM вещания является возможность использования для его реализации существующей инфраструктуры АМ-вещания [5, 6].

Проблемным фактором DRM вещания остается малый парк приемных устройств и значительная, на сегодняшний день, их дороговизна. Снижение стоимости радиоприемников DRM вещания возможно только при существенном увеличении их производства. Перспективным решением увеличения парка радиоприемников DRM вещания является их интеграция с приемом и других стандартов цифрового радио. Компания NXP Semiconductors и iBiquity Digital Corporation разработала специализированную однокристальную интегральную микросхему, поддерживающую несколько стандартов цифрового радиовещания – DRM, HD-Radio и DAB/DAB+/T-DMB. Сигналы этих стандартов обрабатываются одним сигнальным процессором SAF356X, обеспечивающим программную реализацию поддержки требований многостандартного цифрового радиовещания и расширения слушательской аудитории цифрового радио.

Таким образом, для успешной организации иновещания программ украинского радио с помощью системы DRM потребуются решение ряда задач:

- определение географических территорий, на которых проживает население, составляющее потенциальную аудиторию украинских программ;
- исходя из мест проживания аудитории, определение целесообразности использования для вещания того или иного частотного диапазона и определение доступных номинальных значений частот;
- исходя из рекомендованного для работы частотного диапазона, определить режим помехоустойчивости DRM передачи (А, В, С или D), а также параметры модуляции и помехоустойчивого кодирования;
- определение количества и мест расположения передающих устройств, их мощностей и способов использования частотных каналов (например, для вещания Всемирной службы ВВС на страны западной и центральной Европы, используются три передатчика, которые могут работать как в синхронной одночастотной сети, так и многочастотной [3, 7]);
- определение способа доставки контента до передающих станций.

---

### Литература

1 Доктрина інформаційної безпеки України, затверджена Указом Президента України від 25 лютого 2017 року № 47/2017.

2 Research White Paper WPH 152 Launch of International Radio Services using Digital Radio Mondiale (DRM). British Broadcasting Corporation BBC, July 2007.

3 ETSI ES 201 980 (v4.1.2) Digital Radio Mondiale (DRM). System specification. 2017-04.

4 Recommendation ITU-R BS.1615-1 "Planning parameters" for digital sound broadcasting at frequencies below 30 MHz (05/2011).

5 Балан Н.М. Технические аспекты использования существующей инфраструктуры АМ вещания для организации цифрового звукового вещания по системе DRM / Н.М. Балан. Міжнародна науково-технічна конференція «Технології цифрового мовлення: стратегія впровадження в Україні» (DBT-2006) 29 – 30 червня 2006 року. Одеса – С. 99 – 104.

6 Балан Н.М. Технические аспекты использования существующих антенно-фидерных сооружений для организации цифрового звукового вещания по системе DRM. / Н.М. Балан. Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. Матеріали 61-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, науковців і молодих вчених «Освіта і наука»– 2007. Одеса – С. 112 – 115.

7 Cable J. DRM – the BBC World Service distribution chain / Julian Cable // EBU Technical Review. April 2006.

### References

1 Doctrine of Information Security of Ukraine, approved by the Decree of the President of Ukraine, February 25, 2017 No. 47/2017.

2 Research White Paper WPH 152 Launch of International Radio Services using Digital Radio Mondiale (DRM). British Broadcasting Corporation BBC, July 2007.

3 ETSI ES 201 980 (v4.1.2) Digital Radio Mondiale (DRM). System specification. 2017-04.

4 Recommendation ITU-R BS.1615-1 "Planning parameters" for digital sound broadcasting at frequencies below 30 MHz (05/2011).

5 Balan N.M. Tekhnichestiye aspekty ispol'zovaniya suschestvuyuscheiy infrastruktury AM veschaniya dlya organizatsii tsyfrovogo zvukovogo veschaniya po sisteme DRM / N. M. Balan. Mizhnarodna naukovotekhnichna konferentsiya "Technologii tsufrovogo movlennya: strategiya vprovadzhennya v Ukraini" (DBT-2006) June 29 – 30, 2006. Odessa – pp. 99 – 104.

6 Balan N.M. Tekhnicheskkiye aspekty ispol'zovaniya suschestvuyuschikh antenno-fidernykh sooruzheniy dlya organizatsii tsyfrovogo zvukovogo veschaniya po sisteme DRM / N. M. Balan. Materialy 61 naukovotekhnichnoyi konferentsii "Osvita i nauka". – 2007. Odesa – pp. 112 – 115.

7 Cable J. DRM – the BBC World Service distribution chain / Julian Cable // EBU Technical Review. April 2006.

### USING THE DATA EXCHANGE FUNCTION BETWEEN INDICATORS IN INTEGRATED NAVIGATION SYSTEMS

The functions for sending commands to the restructuring of the communications and the functions of information exchange to a higher level with the use of computer networks for communication to the integrated navigation system. When analyzing the choice of navigation systems, of special note are the integrated navigation systems, and communication systems of modern large-tonnage vessels with unlimited navigation area interest are the types of digital information flows. In such systems, information flows at the level of the terminal communication systems and navigation occurs at a relatively low speed in the relevant standards. Deserved special attention, the transfer function of the current coordinates of the vessel. In integrated navigation systems, high speed information flows observed in the satellite communication system INMARSAT. Great noteworthy features of the operating system. It is necessary to highlight the problems of using INMARSAT in the high latitudes. If you use elements of the standard European system ASTERIX at high-speed exchanges in ship reporting systems to traffic control systems of ships In the integrated system provides option high-speed flow of information exchange using equipment of the automatic identification system, it is necessary to know the basic characteristics and types of data in various operation modes of equipment.

The informational exchange of indicators readings in the integrated navigation system is considered in this article. This article is written on the basis of analysis of integrated navigation systems and communication systems of modern large-capacity ships with unlimited area of using.

*Key words:* the integrated system, the indicator's reading, the data bus.

Б.Ч. БЕРДИЄВ, Н.О. ПУНЧЕНКО, О.О. ПОПОВ  
 Одеська державна академія технічного регулювання та якості  
 iioonn24@rambler.ru

### ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІЙ ОБМІНУ ІНДИКАТОРІВ ІНТЕГРОВАНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

На підставі аналізу інтегрованих систем навігації і систем зв'язку сучасного крупно тоннажного судна з необмеженим районом плавання розглядається інформаційний обмін показаннями індикаторів в судовій інтегрованій системі навігації.

*Ключові слова:* інтегрована система, показання індикатора, магістральна шина.

Ship integrated navigation system (SINS) is used for determining of navigation parameters of the vessel. The communication system is used for duplex communication of the ship and other subscribers. SINS composition depends on the gross registered tonnage (GRT) while the composition of the communication system depends on the geographical region of using [1].



Fig. 1. Marine integrated navigation system

1. RSI
2. WAAS/GPS
3. Search network sounder
4. Network Fax receiver weather maps
5. Rreceiver AEIS.

In this article it is examined one of the functions, which is associated with the exchange of the indicators readings in the system. In SINS the informational indicators are: the radar station indicator (RSI) with devices of automatic radar gasket (DRAG), the indicator of electronic cartographical navigation information system (ECNIS), the indicator of receiver of global positional system (GPS), the indicator of echo-sounder, the indicator of automatically equipment identification system (AEIS) and the multifunction indicator.

The devices in SINS are connected to the data bus according to the protocol, which allows to transmit navigational data from all devices over one common cable. If the network of navigation devices is expanded, then the additional devices are connected to the bus and they do not affect the work of already connected devices. It is possible, because during the work of the data bus, all devices get their unique identifier.

All the necessary data is displayed on any indicator in the network. An electronical map with points, which are set from the data of other indicators, can be displayed on the ECNIS indicator. On the RSI indicator such actions can be done in the radar format. On the multifunction indicator in the sequential-parallel mode can be displayed data from ECNIS and RSI indicators, from the receiver of GPS, echo-sounder and AEIS indicator. Using the multifunction indicator allows to reduce the number of indicators in the SINS.

#### Conclusion

It is proved, that digital information streams in modern SINS must correspond to the international standards, because it is necessary for the safety and for the equipment unification. For the data exchange between such devices must be used the MEC 61162 standard, but in the situations of really big data volume its possibilities are not enough. In such cases new more suitable standard must be developed.

#### References

1. Marinich A.N. *Sovremennoe sudovoe oborudovanie sredstv elektronnoynavigacii, I beregovaya edinaya sistema kontrolya i upravleniya sudohodstvom: monografiya*/A.N. Marinich, A.V. Pripotnyuk, YU.M. Ustinov[i dr.]/pod red/ YU.M. Ustinova—Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kamchat GTU,2007.— 261 s.
2. Reznikov V.YU. *Sudovaya radiosvyaz` : Spravochnik po organizacii I radiooborudovaniyu GMSSB/ V.YU. Reznikov, YU.M. Ustinov, A.A. Duruv [i dr.]/pod red/ YU.M. Ustinova. — SPb.: Sudostroenie, 2002.— 480 s.*
3. *Cifrovie interfeysi. 4.1. Odin peredatchik soobjseniy I neskol'ko priemnikov/ Standart MEK 61612-1. Jeneva / Mejdunarodnaya elektrotehnicheskaya komissiya/ IES 61612-1 (Fourth edition – 2010). Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Digital interfaces – Part 1: Single talker and multiple listeners, 2010. — 241 s.*
4. Marinich A.N. *Avtomatizirovannye sistemi monitoring sudohodctva / A.N. Marinich, YU.M Reznikov, YU.M. Ustinov[i dr.]/pod red/ YU.M. Ustinova – SPb.: Sudostroenie, 2003. — 248s.*
5. Durov A.A. *Celesoobraznost` deleniya radiooborudovaniya sudov po naznacheniyu na tri vida: sredstva navigacii, sredstva svyazi I sredstva pri bedstvii I dlya obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya / A.A. Durov, V.S. Kan, A.N. Marinich, Yu. M. Ustinov// ekspluatatsiya morskogo transporta 2009.–№2.—S. 45–50.*

#### Література

1. Маринич А. Н. Современное судовое оборудование средств электронной навигации, ГМССБ и береговая единая система контроля и управления судоходством: монография / А. Н. Маринич, А. В. Припотнюк, Ю. М. Устинов [и др.] / под ред. Ю. М. Устинова. — Петропавловск-Камчатский: Камчат ГТУ, 2007. — 261 с.
2. Резников В.Ю. Судовая радиосвязь:Справочник по организации и радиооборудованию ГМССБ/В. Ю. Резников, Ю.М. Устинов, А.А. Дуров [и др.] / под ред. Ю.М. Устинова. — СПб.:Судостроение, 2002. — 480 с.
3. Цифровые интерфейсы. 4.1. Один передатчик сообщений и несколько приемников. Стандарт МЭК 61612-1. Женева / Международная электротехническая комиссия. IES 61162-1 (Fourth edition – 2010). Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Digital interfaces – Part 1: Single talker and multiple listeners, 2010. — 241 с.
4. Маринич А. Н. Автоматизированные системы мониторинга судоходства / А. Н. Маринич, Ю. М. Резников, Ю. М. Устинов, А. Р. Шигабутдинов / под общ. ред. Ю. М. Устинова. — СПб.: Судостроение, 2003. — 248 с.
5. Дуров А. А. Целесообразность деления радиооборудования судов по назначению на три вида: средства навигации, средства связи и средства при бедствии и для обеспечения безопасности мореплавания / А. А. Дуров, В. С. Кан, А. Н. Маринич, Ю. М. Устинов // Эксплуатация морского транспорта 2009. — № 2. — С. 45–50.



## АУДІОВІЗУАЛЬНІ ОБ'ЄКТИ І МЕТАДАНИ

*Анотація*– У роботі пропонується розглядати кожен медіа-об'єкт як набір пов'язаних з ним дескрипторів, дана оцінка обсягу метаданих.

*Ключеві слова:* Метадані, медіа об'єкти, дескриптори.

O.V. OSHAROVSKA

O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications

## AUDIOVISUAL OBJECTS AND METADATA

*Annotation*– In this paper is offered to consider each media object as a set of associated descriptors and estimate the amount of metadata. In multimedia broadcasts, metadata covers both service descriptions and multimedia controls. Metadata is integrated into the transmission cost chain, taking into account all stages of the development of digital television broadcasting. Any metadata is integrated into the standards relating to the digital lifecycle. The concept is the company's idea of understanding syntactically and semantically complex data by improving their essence in a set of simple descriptors. The television scene is composed of several objects. Video objects should be represented by triangulation meshes. The data on the mesh object has spatial and temporal aspects as well as a high dimensional variable at different resolutions, which enhances the task of finding compact, accurate, and easily computable data models. A model that is equivalent to a description of content-oriented metadata should create a lower bit stream than the source data of the mesh object, at least by an order of magnitude. Secondly, the metadata presentation should contain enough information to support a wide class of queries. Finally, the accuracy and speed of queries should be within the tolerances required by users. The search for content based on the metadata description can be represented by three levels of queries: search using descriptors, such as color, texture, shape, or spatial arrangement of image elements. An important part of this methodology is the development of an ontology that completely captures the semantic model of metadata.

*Keywords.* Metadata, media objects, descriptors.

Використання метаданих або даних про дані дає змогу ефективно та зручно підбирати різноманітні послуги та вміст нової цифрової телевізійної платформи. Проте використання метаданих транслювати мультимедіа не повинно розглядатися як інструмент для вирішення проблем, пов'язаних із складним мережевим мультимедійним середовищем. Навпаки, це створює нові можливості для розробки нових інноваційних послуг.

У ширококомовних мультимедійних застосуваннях метадані охоплюють як описування послуг, так і мультимедійний контроль. Метадані інтегруються у ланцюжок передачі вартості мовлення з урахуванням усіх етапів розвитку цифрового телевізійного мовлення. Будь-які метадані, інтегруються у стандарти, що стосуються життєвого циклу цифрового мовлення. Концепція несе ідею компанії щодо розуміння синтаксичних та семантично складних даних шляхом вдосконалення їх сутності в наборі простих дескрипторів.

Телевізійна сцена компонується з декількох об'єктів. Відео об'єкти доцільно представляти триангуляційними сітками. Сіткові телевізійні об'єкти об'єднують дескриптори декількох структур, зокрема: многокутну границю об'єкта; набір відповідних текстур; набір нормальних векторів до граней; колірну гістограму про вміст, який домінує колір і т. д. [1]

Дані про сіткові об'єкти мають просторові та часові аспекти, а також змінну високу розмірність при різній роздільній здатності, що посилює завдання пошуку компактних, точних і легко обчислюваних моделей даних. Такий підхід призводить до цікавих проблем. Модель що еквівалентно опису метаданими, орієнтованими на контент, повинна створювати менший потік бітів, ніж вихідні дані самого сіткового об'єкта, по крайній мере, на порядок. По-друге, уявлення метаданих має містити достатньо інформації для підтримання широкого класу запитів. Нарешті, точність і швидкість запитів повинні бути в межах допусків, необхідних користувачів. Визначимо дані про сітковому об'єкті як дискретне уявлення про безперервну поверхню впорядкованим безліччю кортежів, будучи всього лише набором координат точок без топологічної зв'язку між ними.

$$\{t, x_1, x_2, \dots, x_n, v_1, v_2, \dots, v_m\}, \quad (1)$$

де  $t$  означає часову змінну, яка визначає етап часу,  $x_i, i \in [1, \dots, n]$  позначає просторову змінну, що визначає геометричні координати в  $n$ -мірному просторі, а  $v_j, j \in [1, \dots, m]$  позначає змінну поля, визначену в кожен вузол (позиція при  $\langle t, x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ ) або кожній зоні у сітці на етапі часу  $t$ . Зона в регулярній сітці є  $n$ -мірною кубічною, обмеженою навколишніми  $2n$  сітчастими вузлами, тоді як невизначена кількість вузлів оточує зону в  $i$ -регулярній сітці.

Метадані організовані в два рівня. Нижній рівень містить два елементи. Перший елемент - це модель сітки при різному дозволі, з використанням відповідної параметричної моделі, наприклад, сплайнів, вейвлетів або кластерів. Другий елемент метаданих являє собою набір індексів, які визначають структуру сітки і її розташування в сцені. Верхній рівень несе інформацію про семантику сіткового об'єкта.

Є багато завдань для подолання цього підходу до роботи, деякі з яких наведено нижче. Вирішення їх полягає у вивченні та здійсненні складних компромісів між періодом попереднього оброблення, рівнем стиснення, швидкістю запитів, точністю запитів та діапазоном запитів, які підтримують метадані. Масштабовані рішення: всі аспекти фази попередньої обробки повинні бути масштабовані до терабайтних даних, а алгоритми повинні бути піддані ефективній паралелізації на машинах із сотнями до тисяч процесорів.

Повні моделі: мало що відомо про те, що робить ефектну модель обчислювальної сітки здатною підтримувати атрибути, що дуже складні, спеціальні запити. Моделі повинні бути компактними, однак вони містять достатньо інформації для відповіді на широкий спектр можливих запитів. Можна припустити, що мета попередньої обробки даних сітки полягає в тому, щоб створити представлення моделі, яка набагато менша, але може бути використана для підтримки приблизних запитів. По-перше, вся сітка розкладається на відповідний розділ, тоді дані в кожному розділі стисло апроксимуються, використовуючи відповідну параметричну модель (наприклад, сплайни, вейвлети чи кластери). Алгоритми для генерації цих метаданих зазвичай ітеруються двома етапами: сегментне розділення та характеристика розділів. Ітерація між цими фазами відбувається для перегляду фактичного розбиття на основі аналогічності (або похибки), яка вимірює різницю між характеристикою даних в розділі та фактичними даними власної сітки.

Концепція метаданих несе в собі ідею об'єднання аналізу синтаксичних і семантично складних даних, уточнюючи їх сутність в набір простих дескрипторів. Одиниця обміну являє собою структурований цифровий об'єкт (цифровий елемент (DI), описуваний метаданими і посилається на пов'язані мультимедійні тематичні об'єкти. Об'єктам мультимедіа може знадобитися потік даних, який перетворюється в один або кілька елементарних потоків [2]. Пошук контенту на основі опису метаданими можна уявити трьома рівнями запитів: пошук за допомогою дескрипторів, таких як колір, текстура, форма або просторове розташування елементів зображення; витяг об'єктів заданого типу, ідентифікованих похідними функціями; витяг абстрактних атрибутів, що включає велику кількість високого рівня міркувань про мету об'єктів або сцен, зображених. Важливою частиною цієї методології є розробка онтології, яка повністю захоплює семантичну модель метаданих, певну в семантичній частині MPEG-7.

Наш підхід до інтеграції онтологій OWL в рамках підтримки семантичної індексації та пошуку аудіовізуального змісту на основі онтології використовує онтологію, яка фіксує модель, представлену семантичною частиною MPDS-7 MDS для представлення семантичного вмісту, Текстові метадані для опису аудіовізуального вмісту. Ця онтологія фіксує семантику першого шару двошарової моделі для семантичних метаданих, що використовуються в рамках DS-MIRF.

Другий шар моделі включає в себе специфічні для домену знання, які поширюють стандарти опису аудіовізуального змісту, щоб вони інтегрували прозорі доменні онтології. Ця онтологія, називна основною онтологією, була реалізована в OWL. Модель семантичного опису аудіовізуального змісту, наданого в семантичній частині MPDS-7 MDS, складається з складних типів даних, які визначаються, використовуючи синтаксис мови XML Schema Language [1], в набір схем опису (DSs) з коренями в семантичній базі DS.

Метадані у вигляді текстової та візуальної інформації складають важливу частину цифрових інформаційних потоків між різними телевізійними системами. Поява інформаційних систем на телебаченні призвело до необхідності моделювання медіа даних. У телевізійних системах виробництва вхідні метадані дозволяють знаходити та вибирати фрагменти вихідних матеріалів для створення нових програм для використання. Програми, завершені виробництвом, повинні бути належним чином описані у формі організованого набору метаданих. Метадані на створені програми містять частину вхідних метаданих та деяких нових метаданих, що відображають суть створюваних програм. Таким чином, можна стверджувати, що у виробничих системах телевізійних програм є операції з формування та змінення метаданих.

## References

1. "Jane Hunter 'Reconciling MPEG-7 and MPEG-21 Semantics through a Common Event-Aware Metadata Model' // <https://arxiv.org/html/cs/0210021>.
2. "ISO/IEC 15938-5 FDIS Information Technology - Multimedia Content Description Interface - Part 5: Multimedia Description Schemes, July 2001, Sydney"

## SCHEDULING ALGORITHM FOR CONVEYOR-MODULAR METHOD OF MULTIMEDIA DATA TRANSFER

**Abstract** – This paper addresses the conveyor-modular method of multimedia data flow transfer over the packet-based communication network. For this method, the special algorithm is developed of optimal channel resource allocation across multiple virtual connections. According the conveyor-modular method, data link layer frames are considered as conveyor-transporting modules (CTMs) regularly circulating over communication channel and carrying the multiplexed multimedia data flow. The proposed algorithm operates with CTMs size, CTMs circulation frequency, the incoming requested real-time data fragment size and flow rate, along with the real-time flow minimal rate; the latter is served by the virtual connections driver. Scheduling algorithm includes four main parts: 1) definition of the maximal "division factor" for real-time data fragments to be allocated in CTMs; 2) determination of the algorithm processing cycle, i.e. the minimal number of consecutive CTMs that should be scheduled; 3) computation of the incoming request's "division factor" as far as the virtual connection request arrived; 4) analyzing the flow allocation table throughout the algorithm cycle, in order to make decision of whether the current request on virtual connection may be accepted or denied; if accepted request, the allocation table of virtual connections is modified. An optimality criterion in the proposed algorithm is a uniform-even distribution payload of conveyor-transporting modules; this improves the overall network performance of virtual connection service. The rest of free unscheduled space in CTM modules is used for low priority traffic.

**Keywords:** real-time data, virtual connection, conveyor modules, optimal resource allocation.

О.В. ТИХОНОВА

Одеська національна академія зв'язку ім. О.С.Попова  
elena.tykhonova@onat.edu.ua

## АЛГОРИТМ ПЛАНУВАННЯ ДЛЯ КОНВЕЕРНО-МОДУЛЬНОГО МЕТОДУ ПЕРЕДАЧІ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ДАНИХ

**Анотація** - Розглянуто метод конвеєрно-модульної передачі мультимедійного потоку даних по пакетній мережі. Для даного методу розроблено алгоритм оптимального розподілу ресурсів каналу зв'язку між потоками віртуальних з'єднань. Критерієм оптимальності є рівномірність завантаження конвеєрно-транспортних модулів, що дозволить збільшити кількість задоволених вимог на віртуальне з'єднання.

**Ключові слова:** дані реального часу, віртуальне з'єднання, конвеєрні модулі, оптимальний розподіл ресурсів.

### 1. Introduction

One of the open problems in current telecommunications is ensuring QoS requirements when real-time data transferring over the converged packet network, [1, 2]. In the 2000s, a technology appeared of different traffic classes separation in the optical domain - Optical Migration Capable Networks with Service Guarantees (OpMiGua) [3] – where Guaranteed Service class Traffic (GST) packets follow a circuit path with no packet loss or jitter; instead, the Statistically Multiplexed (SM) packets are following packet switched path being statistically multiplexed. An enhanced packet based internetworking approach was originated in [4], as well as an appropriate method to leverage integrated heterogeneous data flow in a converged digital channel based on cyclic conveyor module resource scheduling. The conveyor-modular method is characterized in that it considers the data link layer frames (e.g. Ethernet frames) as the conveyor transporting modules for multimedia data, multiplexed in the general stream. CTMs regularly circulate through the communication channel and carry the general stream's fragments. The amount of virtual connections that can be established for real-time flows depends on the particular data link layer technology, CTMs circulation frequency, and the part of total bandwidth, intended for this type of service. Real-time flow segments should be regularly allocated in CTMs to guarantee the necessary data rate.

This work aims developing an optimal algorithm of virtual connection scheduling in a packet based channel to improve the overall network performance.

### 2. Algorithm for optimal scheduling of virtual connections

As optimality criterion of virtual connection packets localization, the uniformly distributed payload of CTMs is taken. According conveyor-modular method, the CTM modules are embedded in the data-link layer frames, which circulate in synchronous mode at a constant frequency  $f_M$  over communication channel.

The circulation frequency of frames carrying CTMs is determined by the bandwidth  $B$  of communication channel and the determined maximum possible frame size  $S$ :  $f_M = B / S$ .

Let  $P_V$  be the real-time data fragment size, produced by the given codec. When  $R_V$  is the real-time flow rate, the frequency of the real-time segments circulation equals  $f_V = R_V / P_V$ . It is obvious, that  $f_V \leq f_M$ . Define "division factor"  $k$  of real-time flow scheduling as the  $f_M$  to  $f_V$  ratio:

$$k = \frac{f_M}{f_V} \quad (1)$$

The factor  $k$  determines the size of the CTM subsequence block, whereina particular real-time fragment must be allocated somewhere once at least. For example, the option  $k = 8$  which is assigned to particular virtual connection, guaranties that an arbitrary CTM module within any block of 8 consecutive CTM modules will be granted for one request of fragmentservice related to given virtual connection.

The proposed algorithm contains three items.

1) Definition the maximal value  $k_{max}$  of division factor, i.e. the minimal rate of real-time flow that is served by the virtual connections driver. For example, let  $k_{max} = 8$ .

2) Computation the minimal number of consecutive CTM modules for given  $k_{max}$ , which can be divided into any  $k \leq k_{max}$  (the so-called flow scheduling cycle  $N_k$ ). This aims to distinguish an integer number of nested cycles inside the scheduling cycle  $N_k$  for any  $k \leq k_{max}$  of correspondent real-time flow. Apparently, the  $N_k$  is "minimal multiple" value for all the  $k \leq k_{max}$ . If  $k_{max} = 8$ , then  $N_k = 2^3 \cdot 3^1 \cdot 5^1 \cdot 7^1 = 840$ . The number  $n_k$  of nested cycles is defined for any  $k \leq k_{max}$  as  $n_k = \frac{N_k}{k}$ . Each nested cycle contains  $k$  consecutive CTM modules, tab. 1.

**Table 1.** The number of nested cycles  $n$  related to division factor  $k$

$k$	Divisible factor of real-time flow	1	2	3	4	5	6	7	8
$n$	Number of nested cycles	840	420	280	210	168	140	120	105

3) Suppose, the real-time flows are scheduled within the flow scheduling cycle  $N_k$ . Let  $l \in [1, N_k]$  be the CTM number within the  $N_k$  cycle;  $q(l)$  determines the unscheduled part of the overall payload capacity for the CTM module numbered  $l$ .

4) Suppose, a request for virtual connection occurred with factor  $k$  and payload size  $P_V$ . Considering the two-byte header [5], the fragments size of requested connection yields  $P_V + 2$ . Next in algorithm, searching for optimal CTM scheduling launched for the entire CTM cycle  $N_k$ .

5) Suppose  $k = 3$ ,  $P_V + 2 = 12$  bytes. The number of nested cycles for such request is  $n = 280$  (see tab. 1); each nested cycle contains  $k = 3$  consecutive CTM modules. For this request, there are three possible variants of scheduling:

- each first CTM module from 280 nested cycles;
- each second CTM module from 280 nested cycles;
- each third CTM module from 280 nested cycles.

To select the best of these three options (based on optimality criterion), the module with minimal free space  $q_1$  is determined among the first modules of each nested cycle in the flows scheduling table; similarly, the  $q_2$  is determined among the second modules, and  $q_3$  among the third modules. Then, the maximal value  $q_{max}$  is determined among  $q_1, q_2, q_3$ :  $q_{max} = \max(q_1, q_2, q_3)$ . If  $q_{max} > P_V + 2$ , the connection request is accepted. A corresponding entry is added to the flows scheduling table, which assigns packets of this flow to each first (second or third) CTM module, depending on calculated  $q_{max}$  value.

The proposed algorithm is illustrated for the  $k_{max} = 4$  and ten consecutive connection requests, fig. 1.

Request, Nr.	$k$	$P_V$	CTM modules												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
$\Sigma$			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	3	4	4			4				4			4		
2	4	5	5					5					5		
$\Sigma$			9	0	0	4	5	0	4	0	5	4	0	0	
3	2	2	2	2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	
$\Sigma$			9	2	0	6	5	2	4	2	5	6	0	2	
4	3	3			3			3			3			3	
$\Sigma$			9	2	3	6	5	5	4	2	8	6	0	5	
5	4	2			2				2				2		
$\Sigma$			9	2	5	6	5	5	6	2	8	6	2	5	
6	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
$\Sigma$			12	5	8	9	8	8	9	5	11	9	5	8	
7	2	3	3	3		3	3	3	3	3	3	3	3	3	
$\Sigma$			12	8	8	12	8	11	9	8	11	12	5	11	
7	3	2			2			2			2			2	
$\Sigma$			12	8	10	12	8	13	9	8	13	12	5	13	
8	4	5			5				5				5		
$\Sigma$			12	8	15	12	8	13	14	8	13	12	10	13	
9	4	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
$\Sigma$			12	8	15	12	8	13	14	8	13	12	10	13	
10	4	6	6				6				6				
$\Sigma$			18	8	15	12	14	13	14	8	19	12	10	13	

Fig.1 Optimal allocation of the multiple virtual connections

Algorithm starts with an empty table (no flows are scheduled). Gradually, the load of CTM modules in scheduling table increases, and finally, the requestNr. 9 cannot be accepted (virtual connection establish failure). Request Nr. 10 fills some CTM modules close to the maximum. Further real time flows scheduling is impossible until some of the previous virtual connections will not terminate. The rest of free space in CTM modules are densely filled with fragments of logical connection flows and fragments of IP packets. The developed algorithm at each step guarantees a maximum free space in heavy loaded modules (that is, the virtual connection flows are optimally scheduled across all CTM modules). The algorithm works similarly for any other value of divisionfactor  $k$ .

### 3. Conclusion

In this paper, a scheduling algorithm is developed for optimal allocation of the multiple virtual connections within a sequence of conveyor-transporting modules. The proposed algorithm is based on conveyor-modular method of multimedia data transfer. The optimality criterion is the uniform even payload of conveyor-transporting modules. This enables increasing the overall network performance in virtual connection service.

### References

5. P.Teixeira de Sousa, P.Stuckmann. Telecommunication network interoperability // European Commission, Belgium. – Available at: <http://www.eolss.net/sample-chapters/c05/e6-108-22.pdf>.
6. IP QoS Interoperability Issues. – Available: [ftp://www.3gpp.org/tsg\\_sa/TSG\\_SA/TSGS\\_21/Docs/PDF/SP-030371.pdf](ftp://www.3gpp.org/tsg_sa/TSG_SA/TSGS_21/Docs/PDF/SP-030371.pdf).
7. Scharf J. OBS vs. OpMiGua – a comparative performance evaluation / J. Scharf, A.Kimsas, M.Köhn, G. Hu. – Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.137.5435&rep=rep1&type=pdf>.
8. Tikhonov V.I. Conveyor module resource scheduling in packet based communication channel / V.I. Tikhonov, A.Taher, O.V.Tykhonova // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – № 21 (1193). – 2016. – c. 152–161.
9. Tikhonov V.I. Simulation the algorithm of multimedia data integration in packet based digital channel / V.I. Tikhonov, A. Taher, O.V. Tykhonova // Measuring and Computing Devices in Technological Processes. – Nr. 2. – 2016. – p. 151-155.

**SELF-CALIBRATION OF IMAGE FORMER WITH OPTICAL TEST-RING**

*Vibrating oscillations of the image forming system (especially angular oscillations) are cause of blurring appearing. The transfer functions of the image forming system go to zero in blurring points. If it is known angular and linear oscillation parameters it ensures a following: the two-dimensional display adjustment and the digital filtering of distorted image. Testing of the television video channel upon effect of destabilizing vibrating oscillations includes forming the special optical test. For example in form of thin right shape ring. If test image is available it permits to organize self-calibration condition of television video channel (for instance the TV system). It is ensured by permanent comparison condition the running and ideal forms in the data- processing equipment for vibrating oscillation parameters calculating to compensate its effect. The unit-analyser of vibrating oscillations states the value of violation degree the shape and size of the ring test (the amplitude of angular and linear oscillation) and the conditions for disruption of dynamics. The flicker frequency can be ensured in according to define vibrating oscillation parameters analyzing programm. Measuring method of local linear and angular displacements on three- coordinate axes is proposed with assistance of optoelectronic system set on studied objects. Block 1 forms the luminous flux, carrying thin ring picture. This flux ingresses into radiation detector 2 (for example, charge communication device - CCD), which is being controlled by block 3. Information about ring's gravity centre shift and about distortion because of the vibrations is being formed in block 2. Measuring information is transmitted to processor 5, where testing parameters of not shifted and not deformed rings also transmit from offline storage 4. Special comparison algorithm of formed picture with testing one is realised in processor 5. Result of measuring are being detected by indicating device 6. Proposed method permits considerably to reduce hardware expenses and to improve measuring reliability. Realization of this method permits with assistance of one optoelectronic channel to measure parameters of angular and linear vibrations by three axes simultaneously.*

*Keywords: measurement of small oscillations, image protection during oscillations, testing of communication channels, active vibration compensation for image reconstruction.*

O.B. АНДРЕЄВА

Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського»  
elvian44@gmail.com**САМОКАЛІБРУВАННЯ ТРАКТУ ПЕРЕДАВАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ОПТИЧНОГО ТЕСТУ-КІЛЬЦЯ**

*У доповіді розглянута можливість захисту системи формування зображення від дії вібраційних коливань (як лінійних, так і кутових). Показана можливість роботи з тестом у вигляді кільця правильної форми. Зміна положення центру кільця (доверху, донизу, ліворуч, праворуч), а також перехід зображення кільця в еліптичну форму, дає інформацію щодо дії лінійних та кутових переміщень, які потрібно компенсувати. Повернення зображення кільця у зону допуску та відновлення його правильної форми свідчить про досягнення заданого ступеню компенсації, наприклад 20%, якщо приймач – прилад зарядового зв'язку (ПЗЗ) має роздільну здатність не гірше 20 ліній на 1 мм та дозволяє контролювати заданий ефект гасіння. Застосування потужних спеціалізованих обчислювачів з паралельною обробкою інформації дозволяє побудувати надійний алгоритм компенсації.*

*Ключові слова: вимірювання малих коливань, захист зображень при коливаннях, тестування каналів зв'язку, активна віброкомпенсація для відновлення зображень.*

The problem of vibrating oscillation compensation can be brought to "recalculation" the communication channel statement  $P_{ks}$  into the equivalent two-dimensional display regeneration statements:

$$P = P_r \cdot P_{cc} \cdot P_d = P_r \cdot P_{equ}^d = P_{equ}^r \cdot P_d,$$

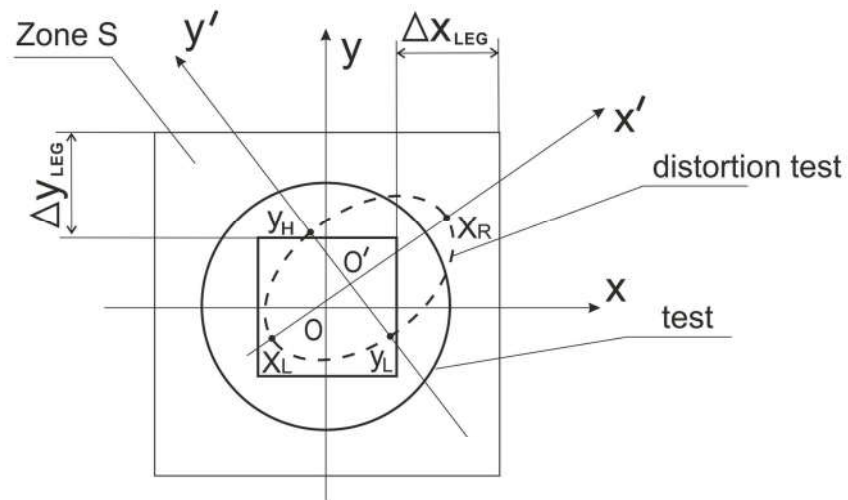
$$P_{equ}^d = P_{cc} \cdot P_d$$

Here is the equivalent two-dimensional display statement with taking into account the communication channel;

$$P_{equ}^r = P_r \cdot P_{cc}$$

is the equivalent regeneration statement with taking into account the communication channel.

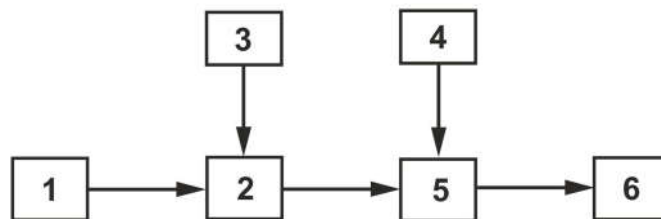
According to violation character the definite quantity of computational - control modules are switched on; one module is for the ring image processing (the tuning on the "ring") and two and more one's are for basic image processing (it is meant tuning away the basic image from effect the angular and linear oscillations).



Zone S - zone of moving and distortion optic's test ring;  
 $\Delta x_{LEG}$ ,  $\Delta y_{LEG}$  - legitimate value;  
 $y_H$ ,  $y_L$  - high and low points;  
 $x_L$ ,  $x_R$  - left and right points

Fig. 1

It is realized the correction of the ring shape (the choice of the compensating actions) with taking account of the quantities of the destabilizing factors. The reconstruction of ring image in tolerance zone shows the attainment of the given compensation degree (it depend on receiving system sensitivity).



1- light source; 2-receiver (CCD); 3-CCD control unit;  
 4-memory block; 5 – processor (image processing unit); 6- indicator block

Fig. 2

In this case the processing algorithm of distortion image of test-ring comes to the solution of algebraic equation system in realtime by method of parallels. Equation system's order is determined by requirements to image detector's abilities of resolutions. When utilization CCI-matrix (CCI-charge communication system) as a detector, computer's memory can be considered as a medium for unit automatics machine's work. Choosing corresponding zones of parallel processing field of coding scene it can be determined degree of violation of ring's geometry on three axes with recalculation on vibrations parameters, and also calculated control signals in order to compensate vibrations.

**References:**

1. Andrieieva O.V. Author's certificate SU 1635010 A1 G01H9/00 from 15.09.91 "Measuring method of locally linear and angular displacements".

**Література:**

1. Андрєєва О.В. Авторське свідоцтво №1635010 «Засіб вимірювання малих лінійних та кутових переміщень» SU 1635010 A1 G01H9/00 15.03.91

## ЕКОНОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ТАРИФІВ РИНКУ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ

Проаналізовано ринок інформаційно-комунікаційних послуг України за статистичними даними, встановлено його основні сегменти за обсягом доходів, а саме: мобільний зв'язок та послуги Інтернет. Визначено основні закономірності встановлення тарифів на ці послуги в країнах світу в залежності від добробуту населення, індексу демократії, індексу інформаційно-комунікаційних технологій, а також індексу сприйняття корупції. Побудовано діаграми розсіяння для залежності тарифів на мобільний зв'язок та Інтернет від ВВП на душу населення. Проведений аналіз параметрів адекватності моделей на базі розрахунку коефіцієнта детермінації засвідчив, що лише невелика частка дисперсії тарифів визначається дисперсією ВВП на душу населення. На думку авторів це пояснюється впливом низки загальнонаціональних факторів, що важко кількісно оцінити. До таких факторів можна віднести наявне нормативно-правове забезпечення, соціальну політику країни, територію, щільність населення, історичні, культурні, національні, релігійні традиції тощо.

Досліджено параметри однофакторної та багатфакторної моделей впливу ВВП на душу населення, індексу демократії та індексу інформаційно-комунікаційних технологій на тарифи на мобільний зв'язок та Інтернет за регіонами світу. Зроблено висновок, що тарифна політика операторів України спрямована на охоплення широких верств населення і навіть після врахування ефекту рівня економічного розвитку країни тарифи залишаються надто низькими. Кожному регіону світу притаманна різна комбінація факторів, які впливають на тарифи щодо послуг мобільного зв'язку. Так, наприклад, для регіонів Америка та Європа найбільший вплив на тарифи здійснює ВВП на душу населення та рівень розвитку ІКТ, причому кожна з розглянутих екзогенних змінних має абсолютно протилежний за значенням ефект на залежну змінну. Так, для Європи збільшення доходу населення сприяє на суттєвому рівні значимості зростанню тарифів, а рівень розвитку ІКТ навпаки зменшує їх.

Відзначимо, що для регіону Азія рівень ВВП на душу населення має зовсім незначимий вплив на формування розміру тарифів, що не можна сказати про рівень демократії та розвитку ІКТ, збільшення яких на достатньому рівні значимості призводять до підвищення тарифів на мобільний зв'язок.

**Ключові слова:** економетрична модель, тарифи, добробут населення, інформаційно-комунікаційні послуги, мобільний зв'язок, Інтернет.

I. VORONENKO, Y. NAMIASENKO  
 National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine

## ECONOMETRIC MODELS OF TARIFFS ON THE MARKET OF INFORMATION AND COMMUNICATION SERVICES

The market of information and communication services of Ukraine according to statistical data was analyzed, its main segments are determined by the volume of revenues, that are: mobile communication and Internet services. The basic regularities of setting tariffs for these services depending on the welfare of the population, the index of democracy, the index of information and communication technologies, as well as the index of perception of corruption were determined for the worldwide. Diagrams of scattering for dependence of tariffs on mobile communication and Internet from GDP per capita were constructed.

The analysis of model adequacy parameters based on the calculation of the determination coefficient showed that only a small proportion of the tariffs dispersion is determined by the dispersion of GDP per capita. According to the authors, this happens due to the influence of a number of national factors, which is difficult to quantify. These factors include the existing regulatory framework, the country's social policy, territory, population density, historical, cultural, national, religious traditions, etc.

The parameters of one-factor and multi-factor models of GDP per capita, democracy index and information communication technology index on tariffs for mobile communication and Internet by regions of the world are investigated. It was made a conclusion that the tariff policy of Ukrainian operators is aimed at reaching the general population and even after taking into account the effect of the level of economic development of the country, tariffs remain too low.

Each region of the world has a different combination of factors that affect the tariffs for mobile services. For example, for the America and Europe regions, the highest impact on tariffs have GDP per capita and the level of ICT development, with each of the exogenous variables considered has an absolutely opposite effect on the dependent variable. Thus, for Europe, an increase in the income of the population contributes at a significant level of significance to the growth of tariffs, and the level of development of ICT, on the contrary, reduces them.

It should be noted that for the Asia region, the GDP per capita has a very small effect on the formation of tariffs, which can not be said about the level of democracy and the development of ICT, which increase on an adequate level of significance lead to an increase in tariffs for mobile communications.

**Keywords:** econometric models, tariffs, welfare of the population, information and communication services, mobile communication, Internet.

### Виклад основного матеріалу

В якості екзогенних змінних, крім ВВП на душу населення як визначального базового критерію добробуту, буде проаналізовано низку факторів, що впливають на тарифну політику, серед яких: індекс демократії (ІД), індекс інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та індекс сприйняття корупції (ІСК). Наведені фактори відносяться до типу стимуляторів, де більшим значенням відповідають кращі показники соціально-економічного розвитку країни. В якості ендогенної, визначеної в межах системи, змінної були



використані тарифи за користування послугами мобільного зв'язку для абонентів передплатеного зв'язку за 1 хвилину (далі – мобільний зв'язок,  $T_{мз}$ ) стосовно 89 країн світу за даними 2017 року та фіксованого (проводового) широкосмугового доступу до мережі Інтернет без обмежень на швидкості 60 Мбіт/с за місяць (далі – Інтернет,  $T_I$ ) [23, 24].

За результатами проведених розрахунків на рис. 1 представлено гістограми розподілу тарифів на мобільний зв'язок та Інтернет. Відтак, на мобільний зв'язок тарифи варіюються від 0,01 до 0,44 USD за хвилину, де найнижчий тариф спостерігається одразу у низці країн, таких як: Бангладеш, Єгипет та Індія, найвищий у Бразилії (0,44 USD). За цими даними Україна потрапляє у 7% країн з найнижчим рівнем тарифів, оскільки тариф на мобільний зв'язок становить 0,03 USD.

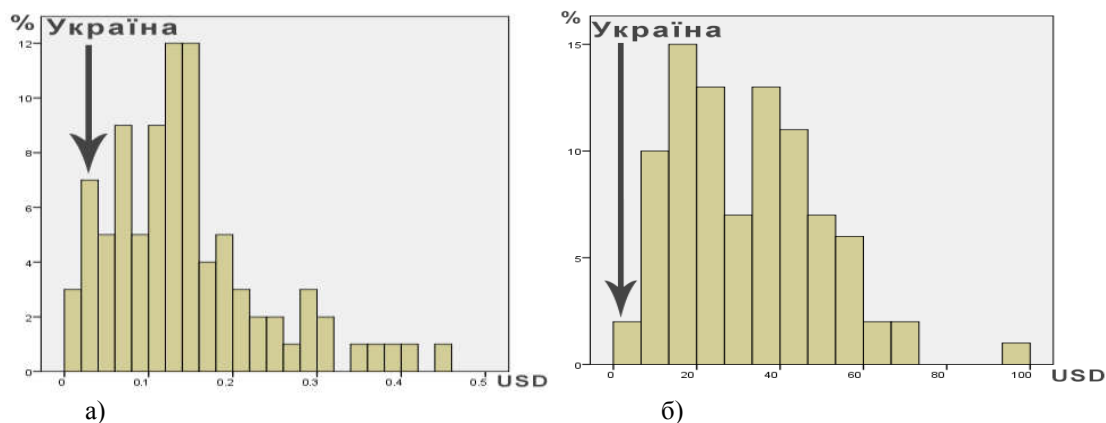


Рис. 1. Гістограми тарифів: а) на мобільний зв'язок б) на Інтернет за даними 2017 року

Наступним кроком стала оцінка рівня лінійного взаємозв'язку між потенційними факторами впливу на встановлення тарифів, які в подальшому були використані для побудови економетричних моделей залежностей тарифів, що описують кореляційно-регресійний зв'язок між тарифами та показниками макроекономічного розвитку (табл. 1)..

Табл. 1. Рівень лінійного взаємозв'язку між факторами потенційного впливу на тарифи на мобільний зв'язок та Інтернет

Назва показника	$T_{мз}$	$T_I$	ВВП на душу населення	ІД	ІКТ	ІСК
$T_{мз}$	1					
$T_I$	0,40***	1				
ВВП на душу населення	0,40***	0,55***	1			
ІД	0,44***	0,24*	0,57***	1		
ІКТ	0,40***	0,30***	0,77***	0,52***	1	
ІСК	0,35***	0,45***	0,86***	0,70***	0,80***	1

\*\*\* – рівень значимості менш ніж 0,001; \*\* – рівень значимості менш ніж 0,01; \* – рівень значимості менш ніж 0,1

Джерело: власні розрахунки

В даному розподілі приймаємо за екзогенні змінні всі зміни за виключенням тарифів. Беручи до уваги, що наведені оцінки кореляції є значимими на рівні, що не перевищує 0,1, можна стверджувати, що при побудові моделей потрібно враховувати мультиколінеарність входів.

Виходячи з кореляційної матриці, найбільший вплив на рівень тарифів, як на мобільний зв'язок, так і на Інтернет, здійснює ВВП на душу населення. Найбільший взаємозв'язок між екзогенними змінними спостерігається для ІСК (останній рядок таблиці 1). У зв'язку з цим у подальшому, на нашу думку, цей фактор пропонується не розглядати в якості вхідного з метою запобігання мультиколінеарності в моделях множинної регресії. Водночас, це є цілком зрозумілим, тому що низький рівень корупції, що відображається у високому показнику ІСК, спостерігається у промислово розвинутих країнах, тоді як найвищий рівень корупції характерний для країн з низьким рівнем ВВП на душу населення.

На рисунку 2 наведено розподіл ВВП на душу населення для вибірки, що досліджується. Україна знаходиться в першій групі найбідніших країн до якої відноситься близько 48% вибірки з ВВП на душу населення до 6,7 тис. USD.

Наявність значимого лінійного взаємозв'язку дозволяє побудувати лінійні регресійні моделі впливу ВВП на душу населення країни (екзогенна зміна) на визначення розміру тарифів.

Відтак, перший етап присвячено аналізу однофакторного впливу ВВП на душу населення щодо розміру тарифів (табл. 2).

Проведений аналіз параметрів адекватності моделей на базі розрахунку коефіцієнта детермінації засвідчив, що лише невелика частка дисперсії тарифів визначається дисперсією ВВП на душу населення.

На думку авторів це пояснюється впливом низки загальнонаціональних факторів, що важко кількісно оцінити. До таких факторів можна віднести наявне нормативно-правове забезпечення, соціальну політику країни, територію, щільність населення, історичні, культурні, національні, релігійні традиції тощо.

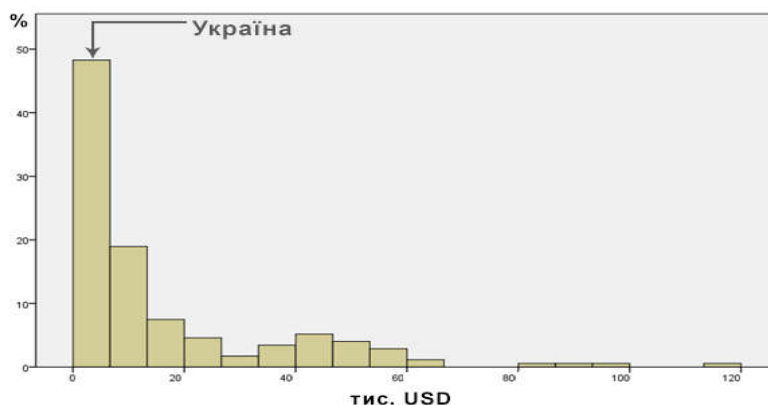


Рис. 2. Гістограма ВВП на душу населення для 89 країн світу

Табл. 2. Параметри однофакторної моделі впливу ВВП на душу населення на тарифи за даними 2017 року

Змінні	Залежність	Коефіцієнт детермінації R <sup>2</sup>	Критерій Стьюдента		Стандартна похибка (USD)
			t <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>	
$y = T_{МЗ}$ Мобільний зв'язок(USD) $x_1 = ВВП$ на душу населення (тис. USD)	$Y=0,09+0,000002x_1$	0,17	7,4	4,2	0,09
$y = T_I$ Інтернет (USD) $x_1 = ВВП$ на душу населення (тис. USD)	$Y=22,29+0,4x_1$	0,29	9,7	6,1	14,8

Джерело: власні розрахунки

Значення параметру Стьюдента свідчить про те, що нульова гіпотеза відносно коефіцієнта при ВВП на душу населення повинна бути відхилена на рівні значимості менш ніж 0,001.

Проведена кількісна оцінка отриманих залежностей дозволяє зробити висновок, що зростання ВВП на душу населення на 1 тис. USD призводить до очікуваного зростання вартості 1 хвилини мобільного зв'язку на 0,0002 centa та тарифу на Інтернет на 40 центів.

Аналіз вільних членів регресійних рівнянь, враховуючи надзвичайно велике значення параметру Стьюденту (малі похибки), надав змогу розглядати їх як мінімальні значення тарифів (нульові тарифи), за якими погодяться працювати місцеві провайдери зв'язку незалежно від рівня добробуту населення кожної конкретної країни.

### Висновки

Проведене дослідження закономірностей встановлення тарифів в країнах світу в залежності від ключових показників економічного розвитку дозволяють стверджувати, що незважаючи на присутність особливостей встановлення тарифів на мобільний зв'язок та Інтернет на національному рівні існують й деякі ознаки їх зближення на міжнародному рівні.

Що стосується тарифів на мобільний зв'язок, то залежність від показника добробуту населення, що в дослідженні було враховано показником економічного розвитку ВВП на душу населення, спостерігається тільки для регіонів Європа та Азія, де значимим є не тільки нульові тарифи: 0,06 – 0,1 USD за хвилину, але й їх маргінальні величини:  $(1,9 - 2,6) \cdot 10^{-6} USD / mucUSD$ .

### Список використаних джерел:

1. Досягнення сфери зв'язку за 9 місяців 2017 року. – 2018 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=138&language=uk>.
2. Мобільний зв'язок. – 2018 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=149&language=uk>.
3. Measuring the Information Society Report 2017. – 2018 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/mis2017.aspx>.

### References:

1. Dosiahnennia sfery zviazku za 9 misiatsiv 2017 roku.. – 2018 [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <http://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=138&language=uk>.
2. Mobile zviazkok. – 2018 [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <http://nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=149&language=uk>.
3. Measuring the Information Society Report 2017. – 2018 [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/mis2017.aspx>.

## УДОСКОНАЛЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ОПЕРАТОРА

*Запропоновано удосконалити модель транспортної мережі стільникового оператора за рахунок її узагальнення, врахування найважливіших характеристик мережі для надання якісних послуг зв'язку абонентам згідно із договорами про якість обслуговування, резервом пропускної здатності та витрат на її побудову. Дана модель дозволить провести оптимізацію витрат операторів стільникового зв'язку за рахунок мінімізації функції необхідної пропускної здатності за умови забезпечення необхідного рівня якості обслуговування абонентів.*

*Ключові слова: стільникова мережа, архітектура мереж, якість обслуговування*

R. ODARCHENKO, L. KHARLAI  
 National Aviation University  
 Lharlay@i.ua

### IMPROVEMENT OF THE ARCHITECTURE OF THE TRANSPORT NETWORK OF THE MOBILE OPERATOR

*In connection with the development of technical, and also with the creation of new, more abundant mobile devices, which give rise to more or less motility, there is a feasibility in the emergence of constant high-speed non-interconnected interconnection. Essential smartphones, tablet computers, laptops, and other "smart" devices will give you a sense of hum new opportunities. Due to this, there appears a more high-speed connection. Essential operators of mobile communications are required to communicate in their own language of the new technology, which are not limited to the objective connection speed and communication quality. These networks are the unique archetype, Due to which higher speeds and quality are achieved. At the same time, operators around the world are recording a sharp increase in data volumes.*

*This is due to the great popularity of smartphones and tablets for easy access to services. By monitoring the development of their own resources, operators overshoot a minimum of two-quarters of the yearly traffic estimates. According to forecasts traffic data in mobile estimates may grow more than a hundred times. In order to cope with the returning volume of traffic and remain profitable at the same time, communication operators should implement high-speed economic radio technologies, increase efficiency, and ensure balanced development of the network. At the same time, the main requirement for the design of such a network is the choice of the most profitable and high-quality data transmission technology. It is proposed to improve the model of the transport network of the cellular operator due to its generalization, taking into account the most important characteristics of the network for providing high-quality communication services to subscribers in accordance with the agreements on quality of service, capacity reserve and expenses for its construction. This model will allow you to optimize the costs of cellular operators by minimizing the required bandwidth provided that the required level of customer service quality is ensured.*

*Keywords: cellular network, network architecture, quality of service*

Для належної підтримки нових широкосмугових технологій радіодоступу в стільникових мережах повинна бути підвищена ефективність передачі інформації при зниженні вартості доставки кожної одиниці трафіку та забезпеченні необхідної якості обслуговування (QoS) та надійності, характерної кожному типу трафіку.

Підтримка заданих у Service level agreement (SLA) показників якості обслуговування абонентів забезпечується шляхом адаптивного перерозподілу у реальному часі ресурсів телекомунікаційних мереж, зокрема швидкості передавання диференційованих потоків та виділених для них каналних смуг. Адаптивне керування параметрами каналу потребує однозначного визначення залежності між швидкістю передачі даних і показниками завадостійкості каналу. Бажано, щоб механізм перерозподілу мав змогу оптимальним чином налаштувати параметри мережевого обладнання на підтримку диференційованої якості обслуговування відповідно до прийнятого критерію оптимальності. Тому виникла потреба у використанні аналітичних математичних моделей каналів передавання даних, що адекватно відображають реально існуючі функціональні взаємозв'язки між параметрами таких каналів. Параметрична оптимізація цих моделей виявить оптимальні залежності між параметрами мережевого обладнання і, отже, дозволить оптимальним чином побудувати механізм адаптивного перерозподілу комунікаційних ресурсів між клієнтськими застосуваннями.

Фізична мережа представлена неорієнтованим графом  $(V, P)$ , а логічна мережа представлена іншим неорієнтованим графіком  $(V, L)$  (рис.1).

Обидва шари мають однаковий набір вузлів. Посилання логічного шару є потенційно допустимими логічними посиланнями, тоді як посилання фізичного шару визначені. На обох графіках ребра є простими, оскільки в цій моделі мультиграфів не дозволяється.

Для кожної різної пари вузлів  $p, q \in V$  відомий обсяг трафіку  $d_{pq}$  для передачі по унікальному шляху (тунелю), цей трафік слідує по всій конфігурації логічного рівня. Ці шляхи є унікальними на кожному етапі, але у випадку недоступності певного шляху вони можуть змінюватися, передаючи дані по альтернативному маршруту. Для простоти моделі припускаємо, що обсяг трафіку симетричний (наприклад,  $d_{pq} = d_{qp}$ ).

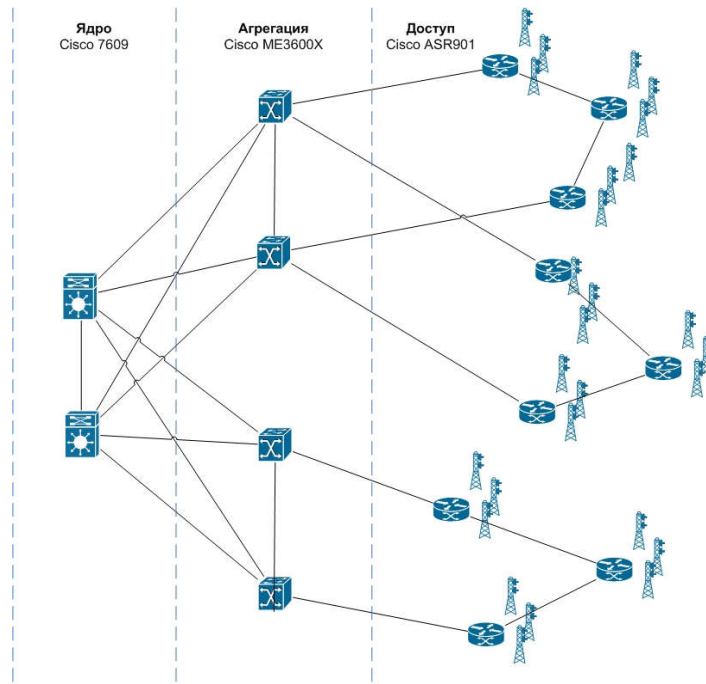


Рис.1. Топологічні зв'язки транспортної розподіленої мережі

При цьому матриця пропускних здатностей кожного каналу зв'язку описується нижче наведеним чином:

$$C = \begin{pmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & \dots & c_{1,j} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & \dots & c_{2,j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{i,1} & c_{i,2} & \dots & c_{i,j} \end{pmatrix}$$

При чому пропускна здатність кожного об'єднаного каналу:

$$c_{i,j} = n_{i,j} \cdot b_{ij},$$

І вартість відповідно:

$$pr_{i,j} = \begin{cases} n_{i,j} \cdot p_{i,j} \cdot t_{i,j}, \\ n_{i,j} \cdot pr_{i,j}, \end{cases}$$

де  $b_{ij}$  - бітрейт, що може бути забезпечений в (ij)-му оптичному волокні;  $n_{i,j}$  - кількість оптичних волокон;  $p_{i,j}$  - вартість оренди 1-го оптичного волокна в місяць;  $pr_{i,j}$  - вартість купівлі оптичного волокна;  $t_{i,j}$  - час оренди (i,j) волокна (місяців).

Загальна необхідна пропускна здатність в мережі – сумарний трафік, що генерується абонентами  $R_{gen}$  разом із закладеним резервом  $R_{res}$ :

$$R = R_{gen} + R_{res}.$$

$$R_{i,j} = R_{gen\_i,j} + R_{res\_i,j}, \text{ - трафік, що генерується між парою вузлів.}$$

Тоді має виконуватись умова:

$$R \leq C_{sum},$$

В кожній гілці має виконуватись умова:

$$R_{i,j} \leq c_{i,j},$$

Для прогнозування кількості трафіку необхідно використовувати кореляційно-регресійний аналіз попередніх часових інтервалів. Таким чином, буде можливим визначати необхідний запас. Також для аналізу необхідного запасу  $R_{res}$  необхідно проводити статистичний аналіз кількості трафіку, що генерується в мережі в залежності від часу доби. Тоді сумарна пропускна здатність має бути якомога меншою, при цьому забезпечуючи необхідний запас (резерв):

$$C_{sum} = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{j=1}^{N_2} c_{i,j} \rightarrow \min;$$

Для правильної побудови транспортної мережі, яка буде здатна забезпечувати потреби всіх абонентів, необхідно розробити прогнози кількості трафіку, який передаватиметься через мережу. Це можна зробити на основі аналізу тих сервісів, які будуть найбільш затребуваними в стільникових мережах, аналізі кількості користувачів та їх активності.

Одним із джерел прогнозування потоків трафіку в мережі можуть бути, як результати довготермінового аналізу уподобань користувачів під час експлуатації мережі, так і результати соціологічних опитувань потенційних користувачів на етапі планування запуску мережі.

За аналізом результатів опитування можливо проводити оцінку необхідної пропускної здатності радіо інтерфейсів базових станцій (БС):

$$C_{serv} = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_9 \end{pmatrix}, N_t = \begin{pmatrix} N_{1,1} & N_{1,2} & N_{1,3} & N_{1,4} \\ N_{2,1} & N_{2,2} & N_{2,3} & N_{2,4} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_{9,1} & N_{9,2} & N_{9,3} & N_{9,4} \end{pmatrix}.$$

$$C_{sum} = C_{serv} \cdot N_t$$

де  $t = 1, 2, 3, 4$  (1 – ранок; 2 – день; 3 – вечір; 4 – ніч);

$C_{serv}$  – необхідна пропускна здатність каналу для забезпечення якісного надання послуг;

$N_t$  – кількість абонентів стільникового зв'язку, що користуються рядом послуг в певні проміжки часу.

Розрахована сумарна пропускна здатність не має перевищувати пропускну здатність, що виділяється БС.

$$C_{sum} \leq C_{BC}.$$

У довгостроковій же перспективі з метою закладання можливості масштабування мережі необхідно проводити довготривалі прогнози необхідної пропускної здатності як в стільниках, так і в транспортній підмережі.

### Література

1. Одарченко Р. С. Економічна ефективність впровадження систем захисту стільникових мереж 4G / Р. С. Одарченко, С. Ю. Лукін // Системи обробки інформації : зб. наук. Праць. – Вип. 4 (102). – Т. 2. Інформаційна та економічна безпека. – Х. : В-во Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 2012. – С. 51–56.

2. Ткаченко В. В. Методи прогнозування попиту на послуги мереж LTE / В.В. Ткаченко, Р. С. Одарченко, Ю. О. Петрова // Політ-2011. Сучасні проблеми науки : міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів, 7–9 квітня 2011 р.: тези доп. – К. : НАУ, 2011. – С. 30.

3. Дослідження ефективності стільникових мереж в Україні, Одарченко Р.С., Харлай Л.О. Актуальные научные исследования в современном мире выпуск 11(31) Часть 10, Ноябрь 2017 г. Сборник научных трудов «Актуальні дослідження в сучасному світі» (Переяслав-Хмельницький, 2017)

### References

1. Odarchenko R.S Ekonomichna efektivnist vprovadzhennya sistem захисту stilnikovix merezh 4g / R.S Odarchenko, S. YU. Lukin // sistemi obrobki informacii : zb. nauk. prac. – vip. 4 (102). – t. 2. informacijna ta ekonomichna bezpeka. – x. : v-vo xarkivskogo universitetu povitryanix sil im. ivana kozheduba, 2012. – s. 51–56.

2. Tkachenko V.V. Metodi prognozuvannya popitu na poslugi merezh lte / V.V. Tkachenko, R.S Odarchenko, YU.O. Petrova // polit-2011. suchasni problemi nauki : mizhnarodna naukovopraktichna konferenciya molodix uchenix i studentiv, 7–9 kvitnya 2011 r.: tezi dop. – k. : nau, 2011. – s. 30.

3. Doslidzhennya efektivnosti stilnikovix merezh v Ukraini, Odarchenko R.S, Kharlai L.O. aktualnye nauchnye issledovaniya v sovremennom mire vypusk 11(31) chast 10, noyabr 2017 g. sbornik nauchnyx trudov «aktualni doslidzhennya v suchasnomu sviti» (pereyaslav-xmelnickij, 2017)

## МОБІЛЬНИЙ ЗАСТОСУНОК ОБРОБКИ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ПРИБОРІВ ПІД УПРАВЛІННЯМ ОС IOS

*Представлено розгляд операційної системи iOS. Наведено огляд засобів для розробки застосунку. Описано процес розробки застосунку з багатьма фільтрами і інструментами для обробки цифрових зображень.*

*Ключові слова: застосунок, обробка цифрових зображень, JPEG, iOS, Xcode, Interface Builder, UI, Apple, Objective – C.*

O.E. DIDUSENKO, V.I. PANCHENKO  
National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"  
ksenia71894@gmail.com

### MOBILE APPLICATION OF PROCESSING DIGITAL IMAGES FOR DEVICES WITH IOS MANAGEMENT

***Annotation** - In our time, it's hard to imagine a person who does not have a smartphone. Almost all phones have cameras and the process of photography has moved to a new level. For some people, mobile photography has become an art and even a work. Everyone tries to create a competitive photo and turns to graphic editors for help. Therefore, applications for photo processing are in great demand on the market.*

*The application will be created for Apple mobile phones under the iOS operating system. Which allows you to create a reliable and easy to use application. The programming language Objective-C is chosen for development. It is a high-level object-oriented programming language used by Apple. The development tool for the application is selected Xcode, - the integrated development environment (IDE) for MacOS, iOS, watchOS and tvOS platforms developed by Apple.*

*Xcode includes the Interface Builder and most of the documentation for the developer from Apple. Apple distributes the iPhone simulator in the iPhone SDK. This simulator repeats many elements of the iPhone environment. Presented consideration of iOS operating system. Described the process of developing of application with many filters and tools for processing digital images. The application will work with the most common formats jpg, jpeg (Joint Photographic Experts Group) - a raster format for storing graphic information using lossy compression.*

*For the developer, the iOS operating system is convenient, since it provides many opportunities for creating mobile applications. With Xcode, you can easily move from writing a code to debugging it and developing a user interface-and it's all within the same workspace. The iOS SDK is constantly expanding the Xcode toolkit, adding compilers and frameworks that are required to work with the operating system.*

*Keywords: application, processing of digital images, JPEG, iOS, Xcode, Interface Builder, UI, Apple, Objective – C.*

В наш час складно уявити людину, у якої немає смартфона. Майже у всіх телефонах є камери і процес фотозйомки перейшов на новий рівень. Для деяких людей мобільна фотографія стала як мистецтво та навіть, як робота. Кожен намагається створити конкурентноздатну фотографію і звертається за допомогою до графічних редакторів. Тому, застосунки для обробки фотографій мають великий попит на ринку.

Застосунок буде створено для мобільних телефонів фірми Apple під операційну систему iOS. Яка дозволяє створити надійний, простий і зрозумілий в використанні застосунок. Для розробки вибирається мова програмування Objective – C – високорівнева об'єктно-орієнтована мова програмування, яка використовується корпорацією Apple. З назви Objective-C випливає, що ця мова призначена для управління об'єктами. Об'єкти - це, по суті, контейнери для всього того, чим ви керуєте в програмі, від чогось зовсім простого, як точка в кутку прямокутника, до цілих вікон, що містять різноманітні віджети. В Objective-C не допускається множинне спадкування. Тому кожен клас є прямим нащадком (як правило) іншого класу. Кореневим класом більшості об'єктів в Objective-C є клас NSObject. Цей клас керує можливостями середовища виконання, запропонованими в iOS. Тому будь-який клас, який прямо або побічно успадковується від NSObject, успадкує і ці можливості[1]. Засобом розробки для застосунку вибрано Xcode – інтегроване середовище розробки (IDE) програмного забезпечення для платформ macOS, iOS, watchOS і tvOS, розроблено корпорацією Apple. Xcode включає в себе Interface Builder і більшу частину документації розробника від Apple. Interface Builder дозволяє розробляти користувацький інтерфейс, розміщуючи елементи користувацького інтерфейсу (UI) – таблиці, мітки і кнопки – , що надає зручний попередній перегляд різних станів інтерфейсу застосунку (наприклад, можна подивитися як інтерфейс буде виглядати для різних версій iOS для різних розмірів екрану). У програмі буде використано Xcode разом з додатком Interface Builder. Це поєднання утворює потужне середовище для розробки програм із засобами редагування та налагодження і зручним доступом до online-документації і дозволяє легко розробляти складні графічні інтерфейси (GUI). Фреймворки для підтримки застосунку, що забезпечують зручний призначений для користувача інтерфейс, називаються Cocoa. Це два фреймворки: Foundation framework і фреймворк Application Kit (або AppKit). Другий фреймворк містить класи, пов'язані з вікнами, кнопками, списками і т.д.

Щоб писати програми для iPhone, необхідно встановити ще комплект iPhone SDK. Цей SDK можна отримати безкоштовно з веб-сайту Apple. Apple поширює імітатор (simulator) iPhone в складі SDK iPhone. Цей імітатор повторює багато елементів середовища iPhone, включаючи домашню сторінку, веб-браузер Safari, додаток Contacts (Контакти) і т.д. Цей імітатор набагато спрощує налагодження додатків; вам не потрібно кожен раз завантажувати застосунок, який розробляється, на реальний пристрій iPhone і потім виконувати налагодження на цьому пристрої. [2].

Наведемо рівні, які відокремлюють застосунок від обладнання. Ядро системи забезпечує низкорівневий зв'язок з обладнанням в формі драйверів пристроїв. Воно керує ресурсами системи, такими як програми-планувальники, керування пам'яттю і електроживленням і виконання базових операцій введення-виведення. Сервіси ядра (Core Services) забезпечують підтримку на нижньому рівні (рівні ядра), на відміну від рівнів, які знаходяться вище. Тут забезпечується підтримка колекцій, мережевого обміну, керування файлами, папок, керування пам'яттю, налагодження, потоків, часу і електроживлення. Рівень Сервісів застосунків (Application Services) включає підтримку друку і відтворення графіки, включаючи Quartz, OpenGL і Quicktime. Безпосередньо під застосунком знаходиться рівень Cocoa. Як говорилося вище, Cocoa містить фреймворки Foundation і AppKit. Foundation містить класи для роботи з колекціями, рядками, для керування пам'яттю, файловою системою, архівацією і т.д. AppKit містить класи для управління ув'язками (view), вікнами, документами, а також для обширного користувацького інтерфейсу.

З цього опису виникає відчуття дублювання функцій деяких рівнів. Наприклад, колекції існують на рівнях Cocoa і сервісному ядрі. Однак перший рівень ґрунтується на підтримці з боку другого рівня. Крім того, в деяких випадках певний рівень можна пропускати. Наприклад, деякі класи Foundation для роботи з файловою системою цілком ґрунтуються на функціях рівня сервісів ядра в обхід рівня сервісів застосунків. У багатьох випадках фреймворк Foundation визначає об'єктно орієнтоване відображення структур даних, визначених на рівні сервісів ядра.

Потрібно створити програмний продукт, який відкриває цифрові зображення. Реалізувати можливість застосовувати фільтри для цього зображення. Додати інструменти для корекції фотографії. Для зручності створити функції відміни та повторення останньої дії, а також збереження отриманого зображення. Застосунок буде працювати з найпоширенішими форматами jpg, jpeg (Joint Photographic Experts Group) — растровий формат збереження графічної інформації, що використовує стиснення з втратами. Формат JPEG часто використовується як формат даних у цифрових камерах. Формат підтримується практично всіма сучасними графічними програмами та веб-браузерами. Після збірки проекту отримуємо застосунок з інтуїтивним інтерфейсом та великим функціоналом для обробки цифрових зображень.

Для розробника операційна система iOS є зручною, оскільки надає багато можливостей для створення мобільних застосунків. З Xcode можна легко перейти від написання коду до його відладки і розробки користувацького інтерфейсу, і це все знаходиться в межах одного робочого вікна. SDK iOS постійно розширюють комплект інструментів Xcode, додають компілятори та фреймворки, які необхідні для роботи з операційною системою.

## Література

1. Нахавандипур В. iOS. Разработка приложений для iPhone, iPad и iPod. /В. Нахавандипур. - СПб.: Питер, 2013. - 864 с.
2. Кочан С. Программирование на Objective-C 2.0. / С. Кочан.- М.: ЭКОМ Паблишерз, 2010.- 608 с.

## References

1. Nahavandipur V. iOS. Razrabotka prilozhenij dlja iPhone, iPad i iPod. /V. Nahavandipur. - SPb.: Piter, 2013. - 864 s.
2. Kochan S. Programmirovaniye na Objective-C 2.0. / S. Kochan.- M .: EKOM Pablisherz, 2010. -608 s.

## ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ САМОПОДІБНОГО ТРАФІКА ТА ЇХ ВПЛИВУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

*Анотація.* Оцінка характеристик якості обслуговування в одноканальній системі з чергою для пакетної мережі зв'язку часто зводиться до визначення показника Херста самоподібного трафіку, після чого за формулою Норроса розраховується середня кількість пакетів в системі. Проте, відомі формули розрахунку показника Херста, які показують залежність його від параметрів імовірнісного розподілу трафіку є дуже неточними.

*Ключові слова:* пакетна мережа, методи розрахунку характеристик QoS, самоподібний трафік, показник Херста, імовірність очікування.

A.G. LOZHKOVS'KYI, E.V. LEVENBERG  
 O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,  
 aloshk@onat.edu.ua

## ESTIMATING THE PARAMETERS OF SELF-SIMILAR TRAFFIC AND THEIR IMPACT ON THE SERVICE QUALITY CHARACTERISTICS

*Abstract.* Estimation of the service quality characteristics in a single-channel system with queue for the packet network is often reduced to the determination of the Hurst exponent for self-similar traffic, after which using the well-known Norros formula calculated average number of packets in the system. However, the known formulas for calculating the Hurst exponent, which show its dependence on the parameters of the probability distribution of traffic, are not accurate and very approximate. For the case when in the self-similar traffic the time interval between packets is described by the Pareto or Weibull distribution, a new formula for calculating the self-similarity coefficient of traffic is obtained on the basis of the shape parameter of this distribution. The calculation of the characteristics of service quality can be performed on the basis of the Norros formula. With an increase in the accuracy of calculating the Hurst exponent, the calculation accuracy of the quality service characteristics also increases. In the work proposes the new method for approximating the probability distribution function of the system states, where for the approximating function, a simple exponential function with the  $\rho / N$  distribution parameter was used. From this approximating function the new formula for calculating the waiting probability for the service start of the packet in a one-channel system with self-similar traffic is obtained. This method of calculation based on the phenomenon that packets in self-similar traffic are not smoothly distributed over different time intervals, but are grouped into "blocks" at certain intervals and are completely absent or very small at other time intervals. Therefore, for such traffic, in the distribution function of the number of packets in a single-channel system, the probability  $P_0$  of a complete absence of packets in it increases.

*Keywords:* packet network, methods of QoS calculation, self-similar traffic, Hurst exponent, waiting probability

Характеристики якості обслуговування (QoS) будь-якої телекомунікаційної системи, яка розглядається як система масового обслуговування (СМО), залежать від схеми системи, правил обслуговування вимог, що надходять до системи на обслуговування, та в найбільшій мірі від типу трафіка, що утворюється потоком вимог системи.

У пакетних мережах зв'язку застосовують математичну модель самоподібного трафіка, але при цьому не існує достовірної методики розрахунку характеристик якості обслуговування. Зі зростанням ступеня самоподібності пакетного трафіка характеристики QoS у системі суттєво погіршуються порівняно з обслуговуванням, наприклад, пуасонівського трафіка. Ступінь самоподібності трафіка визначається показником Херста  $H$ .

Самоподібний трафік пакетних мереж зв'язку описується імовірнісними розподілами інтервалу часу між надходженнями пакетів з так званим «довгим хвостом», до яких відносяться розподіли Парето та Вейбулла. Параметром розподілу в обох імовірнісних розподілах є так званий параметр форми  $a$  (*shape parameter*), який, як прийнято вважати [1], знаходиться з показником Херста  $H$  в такій залежності:

$$H_{\text{П}} = \frac{3-a}{2} \text{ – для розподілу Парето, де } a \text{ змінюється від 1 до 2;} \quad (1)$$

$$H_{\text{В}} = \frac{2-a}{2} \text{ – для розподілу Вейбулла, де } a \text{ змінюється від 0 до 1.} \quad (2)$$

Однак, імітаційним моделюванням встановлено і методами математичної статистики (критерій узгодженості Пірсона  $\chi^2$ ) доведено, що реально ці співвідношення такі:



$H_{II} = a^{-0,78}$  – для розподілу Парето та  $H_B = 1,2e^{-9a} + 0,5$  – для розподілу Вейбулла.

Таким чином, для розрахунку показника Херста достатньо знати тільки параметр форми  $a$  розподілів Парето або Вейбулла, що описують даний трафік, і не треба обчислювати для цього трафіку складним способом, наприклад, методом абсолютних моментів або методом R/S-статистики, коефіцієнт самоподібності Херста. З вживанням реальних залежностей коефіцієнта  $H$  від параметра форми  $a$  розподілів Парето або Вейбулла (3) та (4) підвищується точність розрахунку характеристик QoS за формулою Норрса на порядок.

Оцінка характеристик QoS у СМО виконується на основі математичного опису реакції системи на вхідний потік пакетів. Під реакцією системи розуміють її стани, які математично описуються імовірнісною функцією розподілу кількості зайнятих каналів та місць очікування. У випадку пуассонівської моделі потоку стани системи описуються одним із відомих розподілів Ерланга [2]. Знаходження функції розподілу станів системи при більш складних моделях потоків – це дуже важка задача, і тому аналогічних рішень нема.

За довільного потоку пакетів у системі імовірність очікування  $P_w$  обслуговування пакету можна розрахувати з імовірнісного розподілу станів системи або кількості пакетів у системі в моменти надходження нових пакетів  $r_k$ , де  $k$  – кількість пакетів, за формулою:

$$P_w = \sum_{k=1}^{\infty} r_k. \quad (3)$$

Отже, у випадку самоподібної трафіку з розподілом інтервалу часу між моментами надходження пакетів за законами Парето або Вейбулла розрахунок імовірності очікування обслуговування можливий з функції розподілу станів системи в моменти надходження нових пакетів  $r_k$ , яка достатньо якісно узгоджується із апроксимуючою функцією  $B_i$ :

$$B_i = \frac{\rho}{N} \exp\left(-\frac{\rho}{N} i\right), \quad (4)$$

де  $\rho$  – загрузка системи ( $0,3 < \rho < 1$ );  $N$  – середня кількість пакетів у системі.

Тому, відповідно до виразів (3) і (4) імовірність очікування обслуговування пакета в одноканальній системі з нескінченною чергою типу  $fBM/D/1/\infty$  визначиться так:

$$P_w = \sum_{k=1}^{\infty} r_k \approx \sum_{k=1}^{\infty} B_k = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\rho}{N} \exp\left(-\frac{\rho}{N} k\right). \quad (5)$$

Отже, визначивши коефіцієнт Херста, розраховуємо середнє значення кількості пакетів в системі  $N$  за формулою Норрса [2], а після з апроксимацією (6) за формулою (7) розраховуємо імовірність очікування обслуговування пакета  $P_w$ . Далі за відомими співвідношеннями [2] розраховуються: середня кількість пакетів у черзі  $Q$ , середній час перебування пакетів у системі  $T$  і затримки пакетів у системі  $W$ . Після цього розраховуємо середній час затримки пакетів у вхідному буфері  $t_q$  [2].

Імітаційне моделювання підтвердило коректність даних методів розрахунку характеристик QoS у системі з самоподібним трафіком. При цьому розходження результатів моделювання і розрахунку не перевищує 5% при зміні загрузка системи в діапазоні  $0,3 < \rho < 1$  (при  $\rho \geq 0,6$  похибка менше 2%) і зміні значень показника Херста  $0,5 < H < 0,9$ .

#### Література:

1. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и её приложения. Крылов В.В., Самохвалова С.С. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. – 288 с.: ил.
2. Ложковський А.Г. Теорія масового обслуговування в телекомунікаціях. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2010. – 112 с.: іл.

#### References:

1. Krylov V.V. Teorija teletrafika i ejo prilozhenija / V.V. Krylov, S.S. Samohvalova. – SPb.: BHV-Peterburg. – 2005. – 288 s.
2. Lozhkovskiy A.G. Teoriia massovogo obsluzhivaniia v telekomunikatsiiah / A.G. Lozhkovskiy. – Odessa: ONAZ im. O.S. Popova. – 2012. – 112s.

Г.О. ДИМОВА  
Херсонський національний технічний університет  
e-mail:andymova@ukr.net

## МЕТОД ЗНАХОДЖЕННЯ МОДЕЛІ ДИНАМІЧНОГО ОБ'ЄКТА ЗА ВИХІДНИМ СИГНАЛОМ

*Анотація:* Розглянуто можливість знаходження структури оператора динамічного об'єкта за його вихідним сигналом на основі структурних властивостей лінійних операторів та упорядкування множини вихідних сигналів, поданням їх у вигляді ганкелевих форм і ганкелевих матриць.

**Ключові слова:** оператор, модель, зворотна задача, розкладеність, матриця, визначник, ранг, мінор, вектор, поведінка, базис простору

G.O. DYMOVA  
Kherson National Technical University  
e-mail:andymova@ukr.net

### METHOD OF RECOGNITION OF THE DYNAMIC OBJECT MODEL FOR EXTERNAL SIGNAL

**Abstract:** The most common problems are the identification of the operator of the model of a dynamic object, the output signal of which is multidimensional and as a result of its quantization in time and on the level, multi-dimensional (vector) time series will be obtained, on the basis of which we will evaluate the operator of the dynamic system. It is necessary to find the possibility of finding the structure of the operator of a dynamic object only for its output signals based on the structural properties of linear operators and the ordering of the set of output signals, presentation them in the form of Hankel forms and Hankel matrices.

The proposed method of streamlining the initial data relates to reverse problems of the study of dynamic systems, the essence of which is that the output signal is a solution of the dynamic operator of the object, and the structure of the operator itself is unknown. The condition for solving this reverse problem is the presence of linear correspondence with time, distance, pressure, etc., with the same topology and the coincidence of the initial (boundary) conditions. The resulting algorithm includes only standard methods of linear algebra; it can not be represented as numerical procedures, since numerical stability, robustness, and computational complexity are not taken into account here.

The use of Hankel matrices constructed on experimentally obtained time vector series allows us to obtain an undistorted model of a system with a minimum space of states and a minimum number of control inputs that fully utilizes the information contained in the set of time series that are the solution of the operator of a dynamic system.

**Keywords:** operator, model, inverse problem, decomposition, matrix, determinant, rank, minor, vector, behavior, basis of space

### Вступ

В багатьох задачах немає інформації про генерацію процесу, а відомі вимірні характеристики вихідного процесу. Незалежно від будь-яких міркувань по виявленню або оцінці бажано знайти модель для опису динаміки генерації процесу, так як вона може дати більш глибоке розуміння фізики, що лежить в основі задачі.

### Постановка проблеми

Необхідно розробити метод знаходження структури оператора динамічного об'єкта за його вихідними сигналами на основі структурних властивостей лінійних операторів і упорядкування множини вихідних сигналів, представленням їх у виді ганкелевих форм і ганкелевих матриць. Модель повинна бути простою; містити мало довільних або уточнюючих елементів; узгоджуватися з усіма існуючими спостереженнями і пояснювати їх в рамках теорії лінійних динамічних систем; давати докладний прогноз результатів майбутніх спостережень.

### Рішення задачі

Поставлена задача полягає в знаходженні моделі динамічного об'єкта за результатами вимірювань його вихідних сигналів, які після їх обробки представляють векторні часові ряди. В якості елемента класу моделей, що пояснює отриману множину спостережень і є найменшим серед можливих, знайдемо найбільш сильну неспростовану модель. Виходячи зі спостережуваного векторного часового ряду визначимо відповідно до [1, 2] алгоритми обчислення найсильнішою неспростованою моделі. Для вирішення цього розроблена теорія реалізації на основі усіченої поведінки [1, 2]. Сформулюємо поставлену задачу: для отриманого в результаті обробки спостережень за динамічним об'єктом  $q$ -мірного часового ряду  $\vec{w}(t_0), \vec{w}(t_0 + 1), \dots, \vec{w}(t_1)$  ( $-\infty \leq t_0 \leq t \leq t_1 \leq \infty$ ) з  $\vec{w}(t) \in R^q$  знайти динамічну модель об'єкта, що пояснює наведені спостереження.

У загальному випадку, методичний підхід до побудови алгоритмів, що адекватно представляють модель і враховують раніше заявлені вимоги до лінійності, впорядкованості, законам збереження, розкладеності операторів, полягає в завданні деякого певного набору рівнянь, що містять поки що мінімальний набір параметрів з мінімальним набором обмежень [2, 3, 6].

При розробці алгоритму спочатку визначимо основну ідею, а потім вона буде приведена в систематичну процедуру, яку можна застосовувати майже механічно. Однак одержуваний алгоритм включає тільки стандартні методи лінійної алгебри, його не можна представляти як чисельні процедури, оскільки тут не враховується чисельна стійкість, робастність, обчислювальна складність. Отже, маємо початкові дані  $\bar{w}(-1), \bar{w}(0), \bar{w}(1), \dots, \bar{w}(t), \dots$

1. Визначаємо структуру в матриці  $\mathcal{H}(\bar{w})$ , яка розбита на блоки (нескінчену в чотирьох напрямках) ганкелеву матрицю [6, 7] для ряду  $\bar{w}(t) : Z \rightarrow R^q$

$$\begin{pmatrix} \mathcal{H}_-(\bar{w}) \\ \hline \mathcal{H}_+(\bar{w}) \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & & \\ \dots & \bar{w}(-t-1) & \bar{w}(-t) & \dots & \bar{w}(0) & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ \dots & \bar{w}(t-2) & \bar{w}(-1) & \dots & \bar{w}(t'-1) & \dots \\ \dots & \bar{w}(-1) & \bar{w}(1) & \dots & \bar{w}(t') & \dots \\ \dots & \bar{w}(0) & \bar{w}(1) & \dots & \bar{w}(t'+1) & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ \dots & \bar{w}(t-1) & \bar{w}(t) & \dots & \bar{w}(t+t') & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \end{pmatrix} \quad (1)$$

Для цього введемо такі матриці  $H_-$  та  $H_+$  (де  $H_-$  складена з рядків матриці  $\mathcal{H}_-(\bar{w})$ , а  $H_+$  – з рядків матриці  $\mathcal{H}_+(\bar{w})$ ), що  $\text{rank}(H_-; H_+) = \text{rank}(\mathcal{H}_-(\bar{w}); \mathcal{H}_+(\bar{w})) =: n$ .

Визначаємо запізнювання. З ганкелевої структури випливає, що для  $t \in Z_+$ , вирази

$$\begin{aligned} \rho_t &:= \text{rank } \mathcal{H}_t(\bar{w}) - \text{rank } \mathcal{H}_{t-1}(\bar{w}) \\ \rho_0 &:= \text{rank } \mathcal{H}_0(\bar{w}) \end{aligned} \quad (2)$$

визначають незростаючу послідовність ненегативних цілих чисел.

Тепер обчислимо таке  $t'$ , що  $\rho_t = \rho_{t'}$ , для  $t > t'$ . В результаті отримаємо відповідні матриці, зупинившись на  $q(t'+1)$  нижніх рядках в  $\mathcal{H}_-(\bar{w})$  та  $q(t'+1)$  верхніх рядках в  $\mathcal{H}_+(\bar{w})$ .

Далі визначимо матрицю  $\text{col}(H_1, H_2) = \begin{pmatrix} H_1 \\ H_2 \end{pmatrix}$ , що складається з такої кількості рядків  $\mathbf{H} = \begin{pmatrix} H_1 \\ H_2 \end{pmatrix}$ , що стовпці  $\text{col}(H_1, H_2)$  породжують лінійний простір, натягнутий на стовпці матриці  $\mathbf{H}$  [3, 4, 7, 9]. Природно, що ранг матриці  $\mathbf{H}$   $\text{rank}(H_1; H_2) = n$  [7].

2. Визначаємо простір станів: обчислимо ядро ( $\ker$ ) матриці  $H_1$  і припустимо  $\mathcal{H} = H_2 \ker H_1$ .

Розмірність ( $\dim$ ) ядра лінійного оператора (матриці) співпадає з розмірністю її спектра [3, 4] набором коренів характеристичного полінома. Відзначимо, що розмірність області значень  $H_2$  за модулем  $\mathcal{H}$  дорівнює  $n$ , тобто

$$\dim(\text{im } H_2)(\text{mod } \mathcal{H}) = n \quad (3)$$

Потім припустимо

$$X \cong ((\text{im } H_2)(\text{mod } \mathcal{H})). \quad (4)$$

Якщо  $\sim$  – відношення еквівалентності на множині  $S$ , то  $S(\text{mod } \sim)$  представляє собою множину класів еквівалентності;  $(\text{im } H_2)$  – область значень оператора (матриці  $H_2$ );  $X$  – простір станів. Припустимо  $\bar{x}(t) := \bar{h}_+(t)(\text{mod } \mathcal{H})$ , де  $\bar{h}_+(t)$  – стовпець з номером  $t$  матриці  $H_+$ .

3. Визначимо простір вхідних сигналів.

Припустимо

$$\vec{f}(t) := \text{col}(\bar{w}(t), \bar{x}(t)) \quad \text{та} \quad S := \text{span}\{\vec{f}(t), t \in Z\}. \quad (5)$$

Формула (5) означає, що, якщо  $\square$  – векторний простір і  $\square' \subset \square$  – його підпростір, то  $\square(\text{mod } \square')$  означає векторний простір, індукований відношенням еквівалентності, та  $\bar{e}_i \in \square$ ,  $i \in n$  – такі лінійно незалежні вектори, що  $\square' \oplus \text{span}\{\bar{e}_1, \bar{e}_2, \dots, \bar{e}_n\} = \square$ ; тоді набір  $\{\bar{e}_1, \bar{e}_2, \dots, \bar{e}_n\}$  буде додатковим базисом  $\square'$  в  $\square$  [2, 3, 4].

Очевидно, що проекція  $\pi_x: S \rightarrow X$ , яка визначається рівністю  $\pi_x \vec{f}(t) := \bar{x}(t)$ , сюр'єктивна (така відповідність між множинами, при якій кожен елемент однієї множини відповідає деякому елементу іншої множини) – тим самим  $S$  представлено як векторне розшарування на  $X$  [3, 4, 5].

Задамо векторний простір  $U$  і сюр'єктивне відображення  $\pi_u := S \rightarrow U$  так, що  $S = X \oplus U$ , тобто так, що відображення  $\pi := (\pi_x, \pi_u)$  бієктивно (відповідність, що є одночасно однозначним, ін'єкційним і сюр'єктивним); ін'єкція – вкладення, відображення – таке співвідношення між множинами, при якому різним елементам з однієї множини відповідають різні елементи з іншої множини.

Очевидно, що розмірність  $U = \dim U = \dim S - \dim X$

Припустимо  $\vec{u}(t) = P_u \vec{f}(t)$ , де  $P_u$  – оператор проектування.

4. Визначення параметрів системи.

Для  $i \in (n+m)$  введемо числа  $t_i$  так, що вектори  $\vec{f}(t_i)$  утворюють базис простору  $S$ . Тоді  $\vec{f}(t_i) = \text{col}(\vec{x}(t_i), \vec{u}(t_i))$  будуть базисом для  $X \oplus U$ . Тепер визначимо таку  $(n+q) \times (n+m)$ -матрицю  $\mathbf{M}$ , що

$$\mathbf{M}: \begin{pmatrix} \vec{x}(t_i) \\ \vec{u}(t_i) \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} \vec{x}(t_i+1) \\ \vec{w}(t_i) \end{pmatrix}. \quad (6)$$

В результаті нехай  $\vec{w}: Z \rightarrow R^q$  – спостережуваний часовий ряд і  $\mathbf{M} \in R^{(n+q) \times (n+m)}$  – побудована матриця (6). Розіб'ємо  $\mathbf{M}$  на блоки

$$\mathbf{M} := \begin{pmatrix} \mathbf{A}' & \mathbf{B}' \\ \mathbf{C}' & \mathbf{D}' \end{pmatrix}, \quad (7)$$

так  $\mathbf{A}' \in R^{n \times n}$ ,  $\mathbf{B}' \in R^{n \times m}$ ,  $\mathbf{C}' \in R^{q \times n}$  і  $\mathbf{D}' \in R^{q \times m}$ . Тоді система  $\Sigma_S(\mathbf{A}', \mathbf{B}', \mathbf{C}', \mathbf{D}')$  є найбільш сильною неспростованою моделлю з мінімальним простором станів і мінімальним числом входів для часового ряду  $\vec{w}$  [3, 9].

### Висновки

Запропонована методика моделювання оператора динамічної системи на основі властивостей лінійних операторів та упорядкування експериментальних даних за допомогою ганкелевих квадратичних форм і ганкелевих матриць дозволяє обговорювати рішення зворотних задач динаміки на теоретико-множинному рівні в математично точній і узгодженій постановці. Це призводить до поняття оптимальної точної моделі (без урахування перешкод), а саме до найбільш сильною неспростованою моделі в класі лінійних систем. Така модель пояснює спостереження і мала наскільки можливо [1, 2, 6, 8, 9].

Проілюстрована послідовність побудови моделі оператора лінійної динамічної системи як розв'язання зворотної задачі динаміки: по вихідному сигналу визначити структуру оператора в просторі станів дозволяє розробляти обчислювальні алгоритми для реальних динамічних систем в лінійному наближенні.

### Література

1. Месарович М. Общая теория систем. Математические основы М.: Мир, 1978. 311 с.
2. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. М.: Едиториал УРСС, 2004. 400 с.
3. Неймарк М.А. Линейные дифференциальные операторы М.: Наука, 1969. 526 с.
4. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 560 с.
5. Ланкастер П. Теория матриц. М.: Наука, 1978. 280 с.
6. Виллемс Ян К. От временного ряда к линейной системе // Теория систем. Математические методы и моделирование. Сборник статей. М.: Мир, 1989. 384 с.
7. Марасанов В.В., Димова Г.О. Евристичні підходи до аналізу динамічних об'єктів по вихідним сигналам // Проблеми інформаційних технологій. 2017. №2(022). С. 134-141
8. Арбиб М.А., Мейнс Э.Дж. Основание теории систем; разложимые системы. // Математические методы в теории систем. Выпуск 14. М.: Мир, 1979. 327 с.
9. Гудзенко Л.И. Некоторые вопросы структуры объекта по установившемуся сигналу / Труды физического института имени П.Н. Лебедева, Т.45. 1969, С. 110-133.

### References

1. Mesarovich M. Obshchaya teoriya sistem. Matematicheskiye osnovy M.: Mir, 1978. 311 s.
2. Kalman R., Falb P., Arbib M. Ocherki po matematicheskoy teorii sistem. M.: Yeditorial URSS, 2004. 400 s.
3. Neymark M.A. Lineynyye differentsial'nyye operatory M.: Nauka, 1969. 526 s.
4. Gantmakher F.R. Teoriya matrits M.: FIZMATLIT, 2004. 560 s.
5. Lankaster P. Teoriya matrits. M.: Nauka, 1978. 280 s.
6. Villems Yan K. Ot vremennogo ryada k lineynoy sisteme // Teoriya sistem. Matematicheskiye metody i modelirovaniye. Sbornik statey. M.: Mir, 1989. 384 s.
7. Marasanov V.V., Dimova G.O. Yevristichni pidkhodi do analizu dinamichnikh ob'ektiv po vikhidnim signalam // Problemi informatsivnikh tekhnologiy. 2017. №2(022). S. 134-141
8. Arbib M.A., Meyns E.Dzh. Osnovaniye teorii sistem; razlozhimyye sistemy. // Matematicheskiye metody v teorii sistem. Vypusk 14. M.: Mir, 1979. 327 s.
9. Gudzenko L.I. Nekotoryye voprosy struktury ob'yekta po ustanovivshemusya signalu / Trudy fizicheskogo instituta imeni P.N. Lebedeva, T.45. 1969, S. 110-133.

## СОЛІТОННІ ВОЛЗ ПІДВИЩЕНОЇ СПЕКТРАЛЬНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

**Анотація:** Досліджено особливості використання когерентних оптичних ліній зв'язку, зокрема переваги солітонної технології передачі даних на значні відстані. Проведений аналіз спектральної ефективності солітонних оптичних каналів зв'язку показав їх високу ефективність на магістральних лінійних трактах за рахунок реалізації багаторівневих комбінованих форматів модуляції оптичних сигналів.

**Ключові слова:** оптична лінія зв'язку, когерентна система передачі, спектральна ефективність.

A.V. MAZUR, M.V. VASYLKIVSKYI

Vinnitsia National Technical University  
andreyamazur2009@gmail.com, mvasykivskyi@gmail.com

## SOLITON FOCL WITH INCREASED SPECTRAL EFFICIENCY

**Abstract:** This paper raises the question of the limited length of modern multichannel fiber optic communication lines (FOCL) due to the presence of nonlinear interactions of the spectral channels between themselves and the amplifier noise, and solving it using soliton coherent optical communication lines. The question of the advantage of soliton coherent optical data transmission over long distances was considered. The study of the features of the use of coherent optical communication lines and the advantages of soliton coherent optical data transmission over long distances is performed. The advantages and disadvantages of soliton coherent optical communication lines were presented. An analysis of spectral efficiency and nonlinear effects of soliton optical communication channels were carried out. Despite the modern technology of dense multiplexing of spectral channels and coherent detection of a signal, nonlinear effects play a significant role and distortions are large at high signal strengths at distances of the order of thousands of kilometers. Compared the efficiency of soliton and dispersion lines based on two parameters, where spectrum efficiency is the first parameter, and productivity  $SL$  is the second parameter. The advantage of a soliton pulse signal over the traditional ones is the continuous mutual compensation of dispersion and nonlinear effects, which supports the shape of the signal when the pulse is distributed along the fiber. In the paper, the study of the characteristics of soliton coherent data transmission at a distance, characteristic for intercontinental transoceanic communication lines with significant influence of nonlinearity. The methods of mathematical modeling have shown that soliton fiber optic communication lines can provide high efficiency in data transmission over long distances, as well as support modulation of a high order signal.

**Keywords:** optical communication lines, coherent communication lines, spectral efficiency.

## Вступ

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю коригування впливу нелінійних ефектів та спотворень у волоконно-оптичних лініях зв'язку (ВОЛЗ) при передачі даних на значні відстані. Порівняння ефективності солітонних та традиційних ВОЛЗ доцільно виконувати за допомогою двох параметрів: спектральної ефективності та продуктивності  $SL$ , що дорівнює добутку спектральної ефективності на максимальну довжину лінії зв'язку, для якої можливо забезпечити безпомилкове декодування сигналу. Крім того, необхідно враховувати параметр відношення сигнал / шум ( $SNR$ ) і спектральну густину потужності (СПГ), яка дорівнює відношенню потужності випромінювання, що вводиться в оптичне волокно до ширини спектральної смуги робочих частот.

## Аналіз спектральної ефективності солітонних оптичних каналів зв'язку

Необхідність використання солітонних ВОЛЗ на міжконтинентальних, трансокеанських лініях зв'язку зумовлена можливістю реалізації багаторівневих форматів модуляції оптичних сигналів, що підвищує ефективність використання оптичних каналів передачі даних на великі відстані, що зменшує фінансові та енергозатрати, а також знижує рівень спотворень та вірогідність появи помилок у волоконно-оптичних лінійних трактах (ВОЛТ).

Продуктивність лінії зв'язку можна оцінити за спектральною ефективністю використання оптичних каналів за співвідношенням:

$$SE = B / \Delta\nu_{ch} = \log_2(M) / T_s \Delta\nu_{ch}, \quad (1)$$

де  $B$  - бітова швидкість передачі даних,  $M$  порядок модуляції інформаційного сигналу,  $\nu_{ch}$  - міжканальний інтервал. Оскільки спектральна ефективність обернено пропорційна ширині спектрального каналу, то її значення буде знижуватись при зменшенні ширини спектру імпульсу інформаційного сигналу. Однак, збільшення потужності сигналу забезпечує можливість підвищення розрядності формату модуляції, оскільки при підвищенні потужності вплив адитивного шуму буде зменшуватися. При цьому, збільшення порядку модуляції зумовлює підвищення спектральної ефективності логарифмічно, що повільніше, ніж лінійний спад, викликаний збільшенням ширини спектра модульованого сигналу [1].

Залежності спектральної ефективності від параметра  $SNR$  для традиційної та солітонної ВОЛЗ довжиною 2000 км доводять, що при збільшенні потужності спектральна ефективність дисперсійних ліній зв'язку характеризується швидким спадом. При цьому нелінійні солітонні імпульси в діапазоні високих

потужностей більш завадостійкі. Солітонна лінія зв'язку, на основі лише фазової модуляції сигналу здатна забезпечити спектральну ефективність 2,4 біт/с/Гц в діапазоні СГП = 0,1÷0,2 мВт/Гц. Ускладнення формату модуляції (перехід до комбінованого типу модуляції) дозволяє збільшити спектральну ефективність використання магістральних оптичних каналів на 0,7 біт/с/Гц.

Результати комп'ютерного моделювання підтверджують перевагу солітонних оптичних ліній зв'язку, зокрема при їх використанні можлива більш ефективна передача даних в області високих значень параметра  $SNR \sim 40$  дБ [2].

На рисунку 1 приведені результати численного моделювання солітонних ліній зв'язку. На графіку кожна точка являє собою окремих розрахунок ЛЗ довжиною  $z$ , де в кінці проходить процедура зворотнього розподілу сигналу. Моделювання проводилось з використанням стандартного одномодового волокна ( $D = 17$  пс/нм/км,  $\gamma = 1,27$  Вт<sup>-1</sup>км<sup>-1</sup>,  $\alpha = 0,2$  дБ/км); передача сигналу здійснювалась по 15 частотним каналам. Параметри солітонної передачі сигналу, такі як ширина солітонного імпульса, відстань між каналами і інші, вибиралися за результатами оптимізаційних задач [3].

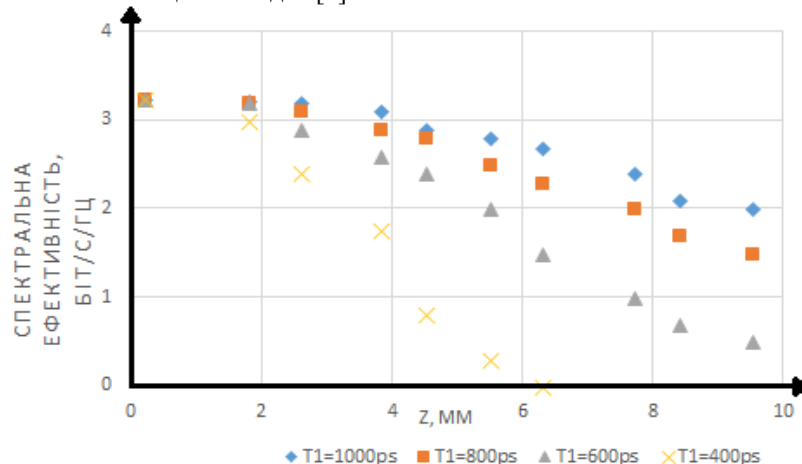


Рис. 1 – Залежність спектральної ефективності солітонних ВОЛЗ від довжини цифрового лінійного тракту передачі інформаційних сигналів

Зменшення значення спектральної ефективності солітонних ВОЛЗ при збільшенні довжини ЛЗ зумовлено впливом шумових ефектів Гордона-Хауса та Гордона – Моленуера [3]. Найбільша символна швидкість передачі даних характерна для солітонних ВОЛЗ, які допускають використання найбільшої потужності групового оптичного сигналу. У таких ЦЛЗ сигнал буде мати найбільші спотворення, але при великих значеннях символної швидкості спектральна ефективність зменшується з відстанню майже лінійно тобто повільніше, ніж згідно закону  $SE \sim \log(1/z)$ . Моделювання вказує на можливість використання комбінованих форматів модуляції високого порядку в солітонних ВОЛТ міжнародного призначення, що дозволяє підвищувати пропускну здатність спектральних каналів при фіксованому діапазоні робочих частот.

### Висновки

Солітонні когерентні ВОЛЗ мають значний потенціал для розвитку телекомунікаційних мереж на основі волоконної оптики. При порівнянні традиційної та солітонної ліній зв'язку у першій спостерігається велике спотворення сигналу та при збільшенні потужності спектральна ефективність швидко зменшується, у той час коли нелінійні солітонні ВОЛТ за рахунок високої потужності сигналів є більш завадостійкими і тому є більш перспективними в подальшому технологічному розвитку інфокомунікаційних мереж.

### Література

1. Юшко О.В Математическое моделирование солитонных оптических линий связи на основе новых форматов и технологий передачи данных: диссертация на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. – Новосибирск, 2016.
2. Юшко О.В., Редюк А.А., Федорук М.П., Турицын С.К. Преимущества солитонной когерентной передачи данных на большие расстояния. -Фотон-Экспресс-Наука, Новосибирск, 2015.
3. 26 Tbit/s linerate super-channel transmission utilizing all-optical fast Fourier transform processing / D. Hillerkuss, R. Schmogrow, T. Schellinger et al. // Nature Photonics. — 2011. — Vol. 5(6). — P. 364–371.

### References

1. Yushko O.V. Mathematical modeling of soliton optical communication lines on the basis of new formats and data transfer technologies: dissertation for obtaining a scientific degree of the candidate of physical and mathematical sciences. - Novosibirsk, 2016.
2. Yushko O.V., Reduk A.A., Fedoruk M.P., Turitsyn S.K. The benefits of soliton coherent data transmission over long distances. -Photon-Express-Science, Novosibirsk, 2015.
3. 26 Tbit / s linerate super-channel transmission utilizing all-optical fast Fourier transform processing / D. Hillerkuss, R. Schmogrow, T. Schellinger et al. // Nature Photonics. - 2011. - Vol. 5 (6). - P. 364-371.

RUSLAN SKURATOVSKIИ

Kiev, MAUP, Ukraine,  
ruslcomp@mail.ru

YEVGEN OSADCHYY

Kiev National University named by Taras Shevchenko, Ukraine  
skeleton@unicyb.kiev.ua

## MODERNIZED DIJKSTRA'S ALGORITHM AND MATHEMATICAL MODEL FOR GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

For modeling the domain of the Earth is usually used cartographic projection. The purpose of our study is to construct a method for finding the optimal path between adjacent checkpoints located at some vertices of the graph. This is achieved through the passage of all control points in a certain sequence with the modernized Dijkstra algorithm. A set of selected points is considered as the vertices of graph  $G$  and a set of permissible paths between them along the edges of this graph. These ribs have a length and their resistance to movement on them, depending on the direction.

The novelty of the problem statement is that we consider the problem of optimizing the path not on the surface  $a$ , but on the set of singular points belonging to this surface. These points are the mandatory points of our route.

Consider the case where all the edges have the same length, and the graph is endowed with some homogeneity. Let the distance between the considered vertices  $A$  and  $B$  be  $d$ . In the case when graph  $G$  has the property of exponential growth. That is, the number of vertices that are at not more than  $k$  from a given vertex is approximately equal to  $ck$ . The usual Dijkstra algorithm requires  $O(c^d)$ , and the counter-search method has a complexity rating of  $O(c^{(d+1)/2})$ . This means that the algorithm we construct is sub-exponential in this case.

Because of parallel implementation complexity of algorithm decrease in  $\left|4(|V_o|-1)\right|$  times, where  $|V_o|$  is number of c.p. That means constructed by us algorithm is the subexponential in this case.

We propose to find the optimal path between the two vertices using the opposition search method. This method are based on parallel opposition search of shortest path by Dijkstra's algorithm from two vertices  $A$  and  $B$  which are c.p. on oriented graph.

Let  $S$  – set of all c.p. If we can chose set  $S$ , then we use method of mask dynamic of search for solution of the problem

$$\min (dp (\{1; 2; \dots; n\}; j) + m[j; i]),$$

$$dp (S; i) = \min (dp (S \setminus [i], j) + m[j; i]).$$

Where  $dp (S; i)$  is shortest path, which starts in  $v1$  and going by all vertices from  $S \setminus \{v\}$ , ending up in vertex  $v_i$ .

Key words: control points, graph tops, modern Dijkstra's parallel search algorithm, geographic information system.

Р.В. СКУРАТОВСЬКИЙ

Міжрегіональна Академія управління персоналом  
ruslcomp@mail.ru

Є.О. ОСАДЧИЙ

Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
skeleton@unicyb.kiev.ua

## МОДЕРНІЗОВАНИЙ АЛГОРИТМ ДЕЙКСТРА ТА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ГЕОГРАФІЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Для моделювання домену Землі зазвичай використовується картографічна проекція. Метою нашого дослідження є побудова методу пошуку оптимального шляху між сусідніми контрольно-пропускними пунктами, розташованими в деяких вершинах графа. Це досягається через проходження всіх контрольних точок у певній послідовності з модернізованим алгоритмом Дейкстри. Набір вибраних точок розглядається як вершини графа  $G$  і набір допустимих шляхів між ними по краях цього графа. Ці ребра мають довжину і їх стійкість до руху на них, в залежності від напрямку.

Розглянуто випадки рідкого та регулярного (або квазірегулярного) графіка та знайдено кореспондентську складність. Наш алгоритм особливо ефективний у випадках рідкісних і регулярних графів.

Новизна постановки задачі полягає в тому, що ми розглядаємо проблему оптимізації шляху не на поверхні а на множині виділених точок, що належать до цієї поверхні. Ці обрані точки є обов'язковими точками нашого маршруту.

Ключові слова: контрольні точки, вершини графіка, алгоритм параметричного пошуку Дейкстри, географічна інформаційна система.

For modeling of a domain of the Earth there are usually used a cartographic projection. The goal of our investigation is method of finding of an optimal path between adjacent control points that are in some vertices of graph. Let us denote by  $V$  the number of vertices,  $E$  the number of all edges. The tusk of line orienteering is to find an optimal path between adjacent control points in some vertices of graph. The goal of our investigation is to construct such method of finding path through all control points in determined sequence. We can choose optimal path between every pair of control points (c.p.). For this goal we develop modified by us Dijkstra's algorithm that in case of sparse graph has complexity  $O(E + V \log_2(V))$  instead of usual complexity  $O(V^2 + V \log_2 V)$ . In case if graph is a sparse then we have a complexity index  $O(E + V \log_2 V)$ .

Let us consider the case when all edges have the same length and the graph is endowed with some uniformity. Let the distance between the vertices  $A$  and  $B$  considered are  $d$ . If the graph  $G$  have the property of exponential growth. That is, the number of vertices that are at a distance of not more than  $k$  from a given vertex is approximately equal to  $ck$ . Then the usual Dijkstra algorithm requires costs  $O(c^d)$  and the counter-search method has a complexity rating  $O(c^{(d+1)/2})$ . That means constructed by us algorithm is the subexponential in this case.

More over in most complicated case complexity of our algorithm is  $O\left(\frac{V^2}{4} + \frac{V \ln V}{4}\right)$ .

Also our algorithm permits a parallel realizing. As a result of a parallel implementation complexity of algorithm decrease in  $\left|4(|V_o|-1)\right|$  times, where  $|V_o|$  is number of c.p. Coefficient of speedup of an the algorithm of parallel search is

$$\kappa_1 = \frac{(V^2 + V \log_2 V) \cdot \left|4(|V_o|-1)\right|}{V^2 + V \log_2 V} = \frac{\left|4(|V_o|-1)\right|}{1}.$$

Let  $n$  is the number of nods. And coefficient of extension by parallelling \_

$$\kappa_2 = \frac{\kappa_1}{n}.$$

We propose to find an optimal path between two vertices using a opposition search method. This method are based on parallel opposition search of shortest path by Dijkstra's algorithm from two vertices  $A$  and  $B$  which are c.p. on oriented graph. First vertex with minimal distance to both vertices  $A$  and  $B$  is enclose vertex of a path from  $A$  to  $B$ .

Model for a sequential search of path was constructed. Let  $e_{ij}$  is an edge between vertices  $v_i$  and  $v_j$  that has length  $d_{ij}$ . We consider a resistance  $r_{ij}$  of  $e_{ij}$  and determine new length of labeled graph edge as  $\tilde{d}_{ij} = r_{ij} d_{ij}$ . The model for  $n$  competitor of sport orienteering has weighted sum objective function

$$F(v_0, v_n, k) = \sum_{s=i}^j d_{ij} r_{ij} s_{ij}^{-1} \rightarrow \min,$$

with inequality restriction  $r_{ij} < R(k)$ , where  $R(k)$  is value of a critical load of  $k$ -th competitor of orienteering search,  $s_{ij}$  – speed of moving by  $e_{ij}$  [1, 2]. Let  $S$  – set of all c.p. If we can chose set  $S$ , then we use method of mask dynamic [3] of search for solution of the problem

$$\min (dp (\{1; 2; \dots ; n\}; j) + m[j; i]),$$

$$dp (S; i) = \min (dp (S \setminus [i], j) + m[j; i]).$$

### Conclusion

It is proved, that  $dp (S; i)$  is shortest path, which starts in  $v_1$  and going by all vertices from  $S \setminus \{v\}$ , ending up in vertex  $v_j$ .

### Rerences

1. R. V. Skuratovskii Generalized Euler's constant. Vol. 10, Mathematical visnuk of NTSh. pp. 163-168., 2013.
2. R. V. Skuratovskii Modernized Pohlig-Hellman and Shanks algorithm. Vol. 1 Visnuk of KNU. Cybernetics. pp. 56., 2015.
3. R. V. Skuratovskii Structure and minimal generating sets of Sylow 2-subgroups of alternating groups. São Paulo Journal of Mathematical Sciences. Springer Nature. pp. 1–19, 2018. Source: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40863-018-0085-0>

### Література

1. Р. В. Скуратовський Узагальнюється константа Ейлера. Т. 10, Математичний вісник НТШ. С. 163-168., 2013.
2. Р. В. Скуратовський Модернізований алгоритм Поліг-Хеллмана та Шенкса. Т. 1 Вісник КНУ. Кібернетика. с. 56, 2015 pp.
3. Р. В. Скуратовський Структура та мінімальні породжуючі множини силовських 2-підгруп альтернативних груп. São Paulo Journal of Mathematical Sciences. Springer Nature. pp. 1–19, 2018. Source: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs40863-018-0085-0>



**ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ У ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ**

**Анотація:** Розглянуто варіанти несанкціонованого доступу у волоконно-оптичні лінії зв'язку та способи захисту інформаційних потоків у волоконно-оптичних лінійних трактах. Запропоновано апаратно-програмну реалізацію модифікованого методу захисту інформації у волоконно-оптичних системах передачі.

**Ключові слова:** волоконно-оптичні системи передачі, захист інформації, несанкціонований доступ

M.V. VASYLKIVSKYI, R.P. PALAMARCHUK

Vinnitsia National Technical University  
mvasylkivskiy@gmail.com, rporitskiy@gmail.com

**INFORMATION PROTECTION IN FIBER-OPTIC COMMUNICATION LINES**

**Abstract:** The modified method for controlling the security of a multichannel fiber-optic communication line (FOCL) is considered in the article, which allows determining the time and place of unauthorized access (UA). At the heart of this method is the technology of measurement reflectometry and the method of statistical analysis of quantitative indicators of the quality of the operation of the fiber optic communication line with the use of error criterion. The proposed method of FOCL control is based on the simultaneous use of hardware and software, which allows to improve the efficiency of the protection of information flows through the additional processing of information signals transmitted by the FOCL and to increase compliance indicator and accuracy of determining the location of unauthorized access to optical channels.

An overview of the main types of hardware and software protection fiber optic communication lines showed a number of objective shortcomings of existing methods and created the prerequisites for the use of combined information security tools in the fiber optic transmission systems. The proposed method makes it possible to effectively determine the presence of unauthorized access. The advantage of this method is that this method can be implemented as in simple networks and in expanding networks. Additional computer use allows you to analyze and predict possible changes in the power of optical signals and to set the location of unauthorized access using reflectometer that can work by using PC according to the proposed algorithm.

The analysis of possible ways of unauthorized access in fiber optic communication lines and means of their protection was made. Also was analyzed the basic methods of protecting the fiber-optic communication line from unauthorized access, which eliminate the ability to intercept information. Possible options for implementation of protection against unauthorized access are analyzed. The structural schemes of the hardware implementation of control devices for the protection of the fiber optic communication line are proposed. The proposed remedy of protection for fiber-optic communication line showed that its use enhances the security of the fiber-optic communication line.

**Keywords:** fiber-optic communication lines, information protection, unauthorized access

**Основна частина**

Методи захисту та мінімізації можливостей здійснення несанкціонованих підключень, які забезпечують підвищення інформаційної захищеності потоків даних у ВОЛЗ можна поділити на три групи: спостереження за цілісністю кабелю та моніторинг рівня потужності оптичних сигналів; використання волокна з підвищеним коефіцієнтом гнучкості; шифрування на основі криптографічних методів.

Вказані методи запобігають основним способам несанкціонованого підключення до ВОЛЗ. Розглянемо більш детально процес реалізації класифікованих методів захисту ВОЛЗ від несанкціонованого доступу (НД).

Основний апаратний метод виявлення НД базується на контролі рівня потужності оптичних сигналів на вході оптичного приймача. При зменшенні рівня потужності оптичних сигналів у контрольованому волоконно-оптичному кабелі (ВОК) фіксується виникнення НД та приймається рішення про перенаправлення інформаційних потоків на інші маршрути передавання у ВОЛТ [1]. При цьому, для забезпечення необхідної точності методу потрібно забезпечити постійний рівень потужності оптичних сигналів у ВОЛЗ за умови задіяного типу кодування, який не залежить від виду інформаційних сигналів, що передаються [2]. Зменшення робочого рівня потужності оптичних сигналів зумовлює спрацювання аварійної сигналізації. Ефективним апаратним забезпеченням виявлення підключень до ВОЛЗ є використання оптичних рефлектометрів, оскільки інші варіанти контролю передбачають додаткові під'єднання до волокна, які спричиняють додаткове затухання потужності оптичних сигналів. Сутність рефлектометричного методу полягає в тому, що у досліджуваній ВОК подається потужний короткий імпульс та реєструється інтенсивність розсіяного випромінювання в зворотному напрямку на усіх неоднорідних ділянках ОВ на основі якого можна визначати розподілені втрати потужності оптичного сигналу на всій довжині ВОЛЗ до 120 км. Порівняння вимірних рефлектограм з еталонними, що виконані при різних параметрах зондуючого сигналу та записаних в пам'яті комп'ютера може забезпечити підвищення точності контролю захищеності ВОЛЗ по локальному відхиленню рефлектограм не більше ніж на 0,1 дБ.

В основі наступного варіанту захисту інформації у ВОЛЗ є використання волокна із підвищеним коефіцієнтом гнучкості. Захист ОВ з низькими втратами і великим допустимим радіусом вигину полягає у обмеженні високих втрат, що виникають при згинанні або проколюванні волокна. Використання такого

волокна також зменшує вплив витягування, перекручування та інші фізичних видів впливу на оптичне волокно [3].

Крім апаратних методів існують програмні методи захисту оптичних інформаційних потоків у ВОЛЗ. Розглянувши детально програмні методи захисту, зрозуміло, що в переважній більшості використовуються протоколи шифрування третього та другого рівнів. Протокол шифрування третього рівня (IPSec) виконується на приймальній стороні (стороні користувача), що створює додаткові затримки в роботі телекомунікаційного обладнання. Використання другого рівня шифрування звільняє елементи третього рівня від функції шифрування. Одним із джерел шифрування другого рівня є технологія оптичного кодового мультиплексування CDMA [4-6]. При цьому шанс перехоплення інформації є функцією декількох параметрів, включаючи відношення сигнал-шум, дроблення (Fraction) доступної системної ємності. Також варто відмітити метод на основі використання режиму динамічного (детермінованого) хаосу, який дозволяє забезпечити передачу інформації з псевдовипадковою зміною частоти та амплітуди носійної. В результаті вихідний сигнал є шумоподібним, що в свою чергу ускладнює його розшифрування.

Для ефективного захисту ВОЛЗ необхідно використовувати комбіновані (апаратно-програмні) методи захисту оптичних інформаційних потоків. Один з таких методів базується на моніторингу контрольних сигналів, що передаються по додатковим ОВ навколо робочого оптичного волокна. Для цього має бути зарезервовано додатковий ВОК, що підвищує вартість ВОЛЗ. Але це дає змогу здійснювати моніторинг рівня потужності оптичного сигналу та при механічному впливі на даний ВОК відбудеться зменшення потужності оптичного сигналу, що зумовить спрацювання сигналу тривоги [7].

### Модифікований метод підвищення інформаційної захищеності ВОЛЗ

Запропонований метод контролю потужності оптичного сигналу та коефіцієнту помилок у ВОЛТ базується на порівнянні коефіцієнту помилок BER в оптичному каналі. Для цього, за допомогою несиметричного оптичного розгалужувача (ОР) виконується підключення пристрою контролю захищеності (ПКЗ) до оптичного каналу ВОЛТ. При несанкціонованому підключення до контрольованої ВОЛЗ зменшується рівень потужності оптичних сигналів у лінійному тракті. Зміну рівня потужності фіксує оптичний приймач з підвищеною чутливістю та передає результуючий електричний сигнал на двоканальний BER-тестер, який одночасно визначає два значення коефіцієнта помилок (рис. 1). Після цього, значення коефіцієнта помилок надходять на блок порівняння, для прийняття рішення про присутність або відсутність НД. Даний пристрій контролю доцільно використовувати у невеликих мережах оскільки блок порівняння результатів потребує ручного налаштування (калібрування). Для мереж, які поступово розширюються, чи мають перспективу розширення, використання цього методу є не досить вигідним, адже після кожного розширення мережі необхідно здійснювати повторне калібрування блоку порівняння результатів. Даний апаратний метод може функціонувати у режимі реального часу. Тому, для окремих типів ВОЛЗ можлива апаратно-програмна реалізація запропонованого методу. Узагальнена структура пристрою контролю захищеності ВОЛЗ представлена на рисунку 1.

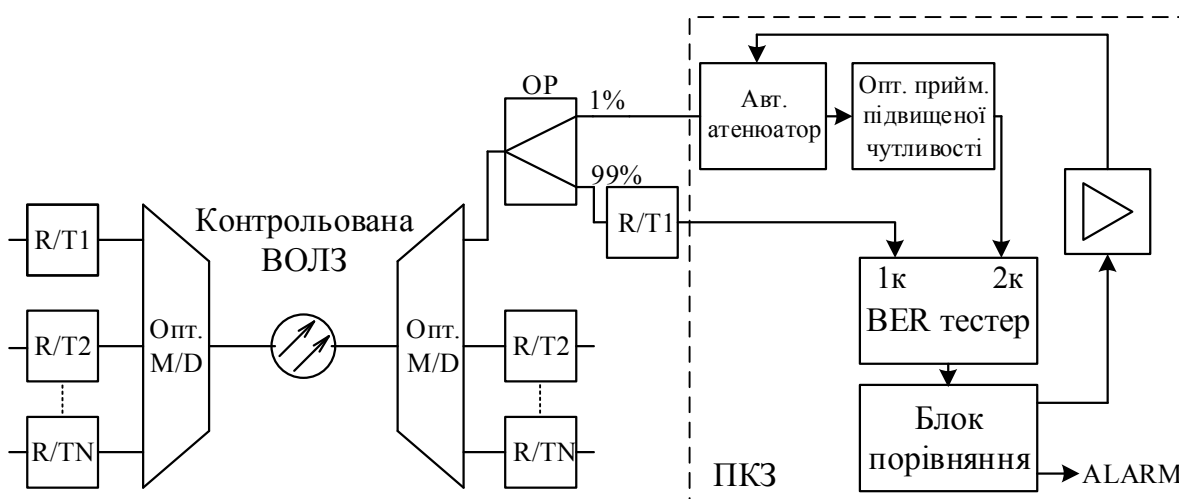


Рис.1. Узагальнена структура пристрою контролю захищеності ВОЛЗ

Для інфокомунікаційних мереж, що розширюються з динамічним налаштуванням конфігурації обладнання запропоновано модифікований варіант схеми пристрою. Для адаптивного налаштування блоку порівняння результатів необхідно додати в структуру ПКЗ ще один ОР та вимірювач рівня потужності оптичних сигналів. Використання ПК у складі ПКЗ дає можливість спроектувати адаптивний засіб контролю захищеності (ЗКЗ) ВОЛЗ на базі запропонованого апаратно-програмного методу, узагальнений алгоритм реалізації якого відображений на рисунку 2. Даний ЗКЗ забезпечить ведення статистики функціонування ВОЛТ на базі якої можна буде виконувати прогнозування функціональних характеристик ВОЛЗ в умовно реальному часі.

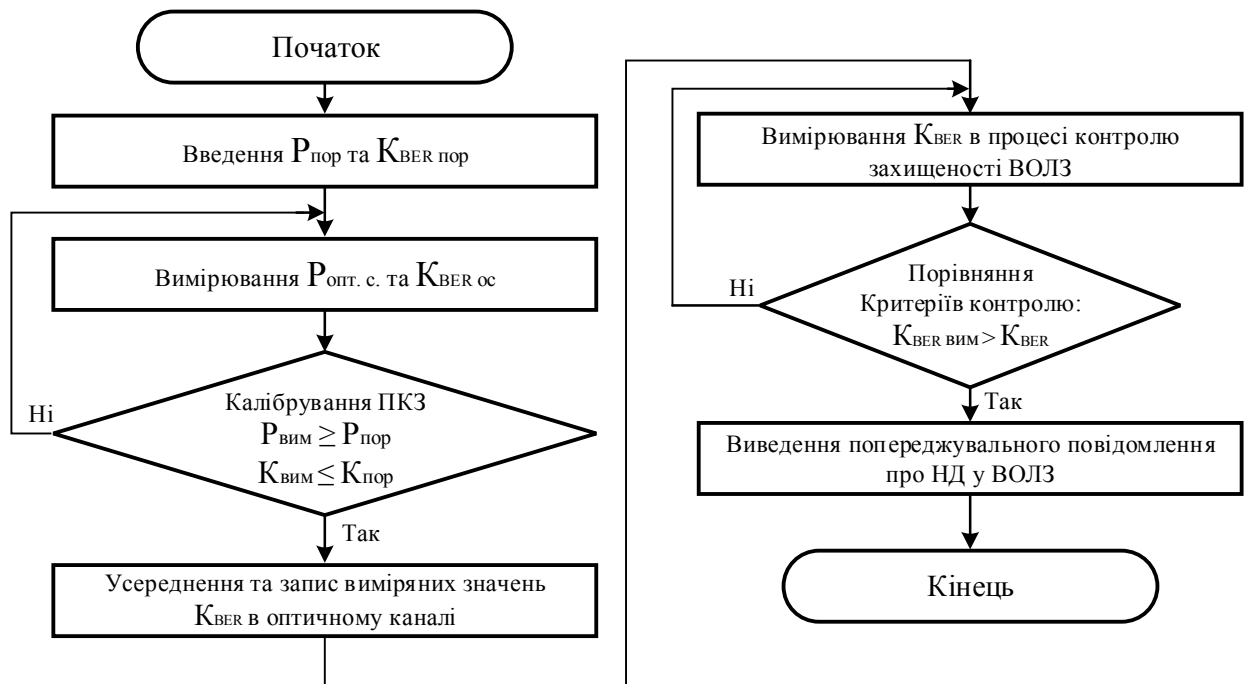


Рис.2. Блок-схема алгоритму роботи пристрою контролю захищеності ВОЛЗ

### Висновки

Аналіз основних існуючих способів несанкціонованого доступу в ВОЛЗ визначив необхідність розробки та впровадження методів протидії та захисту інформації від НД. У статті було описано основні типи апаратного та програмного захисту, однак через ряд об'єктивних недоліків зрозуміло, що необхідно використовувати комбіновані засоби захисту інформації у ВОЛЗ. Запропонований метод дає можливість підвищити швидкість та точність визначення наявності НД у ВОЛЗ. Перевагою запропонованого методу є те, що його можливо реалізувати як і в простих мережах так і у мережах що розширюються. Додаткове використання комп'ютера дає змогу аналізувати та прогнозувати можливі зміни потужності оптичних сигналів та встановлювати місце НД за допомогою рефлектометрів, які можуть працювати при керуванні з ПК згідно запропонованого алгоритму.

### Література

1. Спосіб контролю ліній зв'язку телекомунікаційної системи хмарного антивірусу О.А. Смірнов, А.К. Дідик, А.М. Дреєв, С.А. Смірнов, Кіровоградський національний технічний університет, 2016 р – 7с.
2. All Optical Networks (AON), National Communication System, NCSTIB 00-7, August 2000, 36 p.
3. Draka Elite, Bend Bright-Elite Fiber for Patch Cord, Draka Communications, July 2010, 2 p.
4. W. Ford, «Computer Communications Security», Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1994, 494 p.
5. D. R. Stinson, «Cryptography», Boca Raton, FL: CRC, 1995, 434 p.
6. N. Ferguson and 8. Schneier, «Practical Cryptography», Indianapolis, IN: Wiley, 2003, 432 p.
7. «Optical Fiber Design for Secure Tap Proof transmission», US Patent No. 6801700 B2, Oct. 5, 2004, 10 p.

### References

1. Sposib kontrolu linii zvyazku telekomunitatsiinoi systemy hmarnogo antyvirusu. O.A. Simonov, A.K. Didyk, A.M. Dreev, S.A. Smirnov, Kirivogradskiy natsionalnyi tehnicnyi universytet, 2016 r – 7s.
2. All Optical Networks (AON), National Communication System, NCSTIB 00-7, August 2000, 36 p.
3. Draka Elite, Bend Bright-Elite Fiber for Patch Cord, Draka Communications, July 2010, 2 p.
4. W. Ford, «Computer Communications Security», Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1994, 494 p.
5. D. R. Stinson, «Cryptography», Boca Raton, FL: CRC, 1995, 434 p.
6. N. Ferguson and 8. Schneier, «Practical Cryptography», Indianapolis, IN: Wiley, 2003, 432 p.
7. «Optical Fiber Design for Secure Tap Proof transmission», US Patent No. 6801700 B2, Oct. 5, 2004, 10 p.

**КВАНТОВІ ПРИЙМАЧІ ДЛЯ ТЕРАГЕРЦЕВОГО СПЕКТРУ ЧАСТОТ**

**Анотація** – Виконано огляд сучасного розвитку теплових та фотонних приймачів для інфрачервоного та субміліметрового діапазонів довжин хвиль. Досліджено основні функціональні характеристики фотоприймачів підвищеної чутливості та проведена оцінка перспективності їх використання.

**Ключові слова:** квантовий приймач, інфрачервоний діапазон, субміліметровий діапазон.

V. M. KYCHAK, I. A. SAMOLYUK, M. V. VASYLKIVSKYI

Vinnytsia National Technical University  
vmkychak@gmail.com, tkp15b.samoliuk@gmail.com, mvasyilkivskyi@gmail.com,

**QUANTUM RECEIVERS FOR TERAHERTZ FREQUENCY SPECTRUM**

**Annotation** – Creation of far infrared (IR) and submillimeter (SBM) radiation receivers, in the band of wavelengths  $\lambda = 0.03 - 0.3$  mm (terahertz frequency range), has become quite relevant because of expansion of fundamental knowledge that gives an opportunity to study the interaction of SBM radiation with various physical objects. As a result, the scientific and practical problems that can be solved using such receivers and their modes of operation divides into two classes: on the basis of the use of own thermal radiation (passive mode) or on the basis of the reflected radiation from the object that is embedded autonomous source (active mode).

A number of tasks, in particular, astrophysical research, control of near-Earth space, due to small flows of thermal radiation, require not only extremely high threshold characteristics of photodetectors (PD), but also creation of high-sensitivity quantum-receiving devices (QRD). The same requirements are typical for matrix QRD, which are designed to form images of objects in IR and SBM wavelengths using only their own thermal radiation. Such QRD can increase the signal-to-noise ratio or simplify scanning systems in such devices, or even refuse from them.

Matrix QRD can be used for solving radiation detection tasks in the indicated spectral bands. This devices may be on the basis of superconducting materials and admixture silicon and germanium and on the basis of films of narrow-band solid PbSnTe: In. The advantages of matrix QRD, that basis on PbSnTe:In films, is high operating temperatures, a large absorption coefficient in their own absorption band, and most importantly, a practically exhausted technology of the creation of QRD, including multiplexers. The basic construction method for creation of QRD is based on using of standard semiconductor technologies, including a silicon. The using of thin films with PbSnTe:In is possible due to the high absorption coefficient in the fundamental part of this material, which is not available for similar semiconductor PD of submillimeter wavelength band.

**Keywords:** quantum receiver, infrared range, submillimeter range.

**Основна частина**

Приймачі СБМ-випромінювання описані у ряді робіт [1, 2]. Метою даної роботи є аналіз параметрів теплових та квантових приймачів для далекою інфрачервоного (ІЧ) та субміліметрового (СБМ) діапазонів, порівняння їх порогових характеристик, а також оцінювання можливості створення високочутливих квантових приймальних пристроїв (КПП) та перспективності їх використання.

Традиційними неселективними високочутливими приймачами ВЧ-випромінювання є болометри, які функціонують на основі нагрівання поглинаючого шару під дією вхідних радіосигналів. Підвищена чутливість болометрів зумовлена температурною залежністю опору детектора, що характеризується крутизоною функціональної характеристики пристрою.

В основі приймачів на базі надпровідників використовуються також структури з різними способами розділення куперовських пар. Одним із таких приймачів є STJ-детектор з надпровідним тунельним переходом. У роботі [3] розглянута так звана SIS-структура на основі сполуки  $\text{Al-AlO}_x\text{-Al}$ , що використовується при температурі 2-4 К разом з антеною із надпровідного ніобію. При зчитуванні сигналу одноелектронним транзистором потужність еквівалентна шуму (ПЕШ) у безфонових умовах може становити менше  $1 \times 10^{-19}$  Вт Гц<sup>0,5</sup>.

У роботах [2, 4] досліджено характеристики терагерцових STJ-детекторів на основі надпровідного алюмінію товщиною в 100 нм і тунельного бар'єру з оксиду алюмінію. При цьому, STJ розташовується на плівці з ніобію, яка поглинає терагерцове випромінювання. Очікуване значення величини ПЕШ детектора в умовах низькофонових засвічування складає приблизно  $10^{-18}$  Вт Гц<sup>0,5</sup>, що дозволяє його використовувати в наземних астрономічних лабораторіях, у тому числі для високошвидкісного формування зображення в терагерцевому діапазоні частот.

Можливості реалізації STJ-КПП визначаються, в першу чергу, складністю технологічних процесів формування самого STJ-детектора. З урахуванням гранично малих розмірів STJ –детекторів (порядку квадратних мікрометрів) створення матричного КПП великого формату на цих принципах є досить проблематичним.

Тому, для прийому випромінювання в дальньому ІЧ-діапазоні аж до сотні мікрометрів використовуються напівпровідникові домішкові квантові приймачі (КП) на основі фоторезисторів (ФР), в яких випромінювання, що поглинається, збуджує локалізовані на рівні домішок носії заряду. Коефіцієнт

поглинання на домішках, як правило, на 2-3 порядки менше від коефіцієнта поглинання для переходів валентна зона-зона провідності. Робоча температура такого КП залежить від того, на якій довжині хвилі відбувається поглинання у домішці, зокрема, для більших граничних довжин хвиль необхідна менша робоча температура. Слід також відзначити, що гранична роздільна здатність ФР в  $\sqrt{2}$  разів менше ніж у фотодіода з аналогічним значенням чутливості.

В основі домішкових ФР використовуються германій та кремній, причому з германію виготовляють більш довгохвильові ФР. Роздільна здатність таких ФР часто обмежена флуктуаціями фонового випромінювання. Однак, в залежності від граничної довжини хвилі та необхідної чутливості, таке обмеження виникає на різних робочих температурах.

Квантова ефективність ФР залежить від типу та концентрації домішок, довжини хвилі випромінювання і найголовніше, від товщини активного шару, в якому відбувається поглинання випромінювання. При максимальному значенні спектральної чутливості квантова ефективність знаходиться в межах 10-50 %.

В низькофононих умовах роботи, наприклад, на космічних апаратах, використовуються домішкові ФР на основі кремнію та германію. При цьому робоча температура ФР знаходиться в межах 2-5 К.

За допомогою легування германію різними домішками можна змінювати границю чутливості в діапазоні від 25 до 200 мкм.

Необхідність високої фоточутливості в дальньому інфрачервоному діапазоні зумовила створення ІЧ-КП на основі  $\text{PbSnTe:In}$ . У роботі [4] досліджено особливості створення легованих плівок  $\text{PbSnTe:In}$  на ізоляційних підкладках  $\text{BaF}_2$  за допомогою методу молекулярно-променевої епітаксії (МПЕ). Характерні параметри отриманих плівок дозволили провести дослідження багатоелементних приймачів інфрачервоного випромінювання.

Альтернативним варіантом розробки систем формування зображення СБМ-діапазону є використання проміжного каскаду поглинання на основі теплового екрану, що перетворює СБМ-випромінювання в теплове випромінювання з наступною його реєстрацією з допомогою ІЧ-КП або КПП. В роботі [3] розглянуто особливості використання в цьому методі детекторів на основі плівок  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te:In}$ .

Під дією теплового випромінювання об'єкта в СБМ-області екран нагрівається та на ньому формується відповідне низькотемпературне теплове поле, яке потрапляє на матричний детектор ІЧ-діапазону, що працює в низькофононих умовах. При цьому, фактично відбувається перетворення первинного спектра терагерцового випромінювання у сигнали з меншою довжиною хвилі. Функціональні характеристики такої системи визначаються чутливістю матричного КПП далекого ІЧ-діапазону до теплового випромінювання проміжного екрану з низькою температурою.

Використання КП на основі  $\text{PbSnTe:In}$  дозволяє реєструвати температуру екрану менше 40 К. Зменшення ширини забороненої зони  $\text{PbSnTe:In}$  за рахунок збільшення концентрації олова дозволить реєструвати ще нижчу температуру екрану.

## Висновки

В роботі досліджено методи побудови матричних КПП для далекої ІЧ- і СБМ- областей спектра, включаючи системи формування зображення. При оцінці перспектив та сфер використання матричних КПП при роботі в пасивному режимі, тобто за власним тепловим випромінюванням об'єктів спостереження, необхідно враховувати ряд важливих факторів. Тому, основними сферами застосування КП та КПП з високими граничними параметрами для далекого ІЧ- і СБМ- діапазонів спектра може бути, наприклад, знаходження слабо нагрітих об'єктів за їх власним тепловим випромінюванням поза межами земної атмосфери на фоні "холодного космосу", включаючи реєстрацію випромінювання астрономічних об'єктів.

## Література

1. *Наноинженерия* А. В. Войцеховский и др. Томский государственный университет, 2012 г – 114 с.
2. Калашников К.В. Гармонический смеситель на туннельном переходе хвэрхпроводник-изолятор-сврхпроводник/ К.В. Калашников, А.В. Худченко, А.М. Барышев, В.П. Кошелец// Радиотехника и электроника - 2011. - т.56, №6. - ст.755-759
3. Proc. of the Intern. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves *M. Ortolania et al.*, Rome, Italy, Sept., 2010 – p. 5-10.
4. *Shen X-F, Li J, Shi S-c*, in IRMMW-THz 2006: Conf. Digest of the 2006 Joint 31st Intern. Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 14th Intern. Conf. on Terahertz Electronics, September 18 –22, 2006, Shanghai, China (*Eds X C Shen et al.*) (New York City, NY: IEEE, 2006) p. 344

## References

1. *Nanoinzheneriya* A. V. Voytsehovskiy i dr. Tomskiy gosudarstvenniy universitet, 2012 g – 114 s.
2. Kalashnikov K.V. Garmonicheskiy smesitel na tunnelnom perehode hverhprovodnik-izolyator-sverhprovodnik/ K.V. Kalashnikov, A.V. Hudchenko, A.M. Baryshev, V.P. Koshelets// Radiotekhnika i elektronika - 2011. - t. 56, №6. - st.755-759
3. Proc. of the Intern. Conf. on Infrared, Millimeter and Terahertz Waves *M. Ortolania et al.*, Rome, Italy, Sept., 2010 – p. 5-10.
4. *Shen X-F, Li J, Shi S-c*, in IRMMW-THz 2006: Conf. Digest of the 2006 Joint 31st Intern. Conf. on Infrared and Millimeter Waves and 14th Intern. Conf. on Terahertz Electronics, September 18 –22, 2006, Shanghai, China (*Eds X C Shen et al.*) (New York City, NY: IEEE, 2006) p. 344

## ОСОБЛИВОСТІ НАДАННЯ ПОСЛУГ В АРХІТЕКТУРІ IMS

*Анотація.* В роботі приведено концепцію мережі IMS з горизонтальною архітектурою, яка що дозволяє оператору просто і економічно впроваджувати нові персоналізовані послуги, причому користувачі можуть в одному і тому ж сеансі зв'язку отримати доступ до різних послуг.

*Ключові слова:* IP—мережа, NGN, IMS-платформа

YU.O. SOTNICHENKO  
Kiev College of Communication  
iktkkz@ukr.net

## FEATURES OF PROVIDING SERVICES IN IMS ARCHITECTURE

*Annotation.* The rapid development of modern society requires greater mobility, communication skills, quick and qualitative communication, full awareness of innovations. The telecommunications market is an integral part of the economic and social infrastructure. In this regard, to improve the development of the telecommunications industry, taking into account the needs of users in various communications, it is advisable to introduce new or advanced technologies recognized by world practice. Convergence of networks is needed to increase the efficiency of the network. The further way is a service convention, which involves the use of network infrastructure of different operators to provide services to virtual providers. The conferencing of mobile and fixed communication in the introduction of advanced technologies allows to reduce operating costs due to migration to packet networks based on IP technologies. In this connection, it is expedient for operators to solve these problems by implementing IMS subsystems. Providing various services on the basis of a single package NGN network requires flexible support for the quality of these services. QoS support is a fundamental requirement for IMS.

When organizing each session, the user equipment notifies the IMS about its capabilities and its requirements for QoS. With the SIP protocol, it is possible to take into account such parameters as the type and direction of data transfer, speed, packet size, use of RTP, the necessary bandwidth. IMS allows to manage the quality that a particular user will receive, and thus differentiates users and provides them with services.

The paper presents the concept of an IMS network with a horizontal structure that allows the operator to easily and economically implement new personalized services, and users can access different services in the same session.

*Keywords:* IP-network, NGN, IMS-platform.

Стрімкий розвиток сучасного суспільства вимагає більшої мобільності, комунікабельності, швидкого та якісного зв'язку, повної інформованості про інновації. Ринок телекомунікацій є невід'ємною частиною економічної і соціальної інфраструктури. В зв'язку з цим, для покращення розвитку галузі телекомунікацій, враховуючи потреби користувачів різного роду зв'язку, доцільно впроваджувати нові або передові технології, визнані світовою практикою. Конвенгерція мереж відбувається для підвищення ефективності роботи мережі. Подальший шлях, це конвенгерція послуг, яка передбачає використання мережевої інфраструктури різних операторів з метою надання послуг віртуальних постачальників. Конвергенція мобільного та фіксованого зв'язку при впровадженні передових технологій дозволяє зменшити експлуатаційні витрати за рахунок міграції до пакетних мереж на основі IP технологій. В зв'язку з цим, операторам доцільно вирішувати ці задачі шляхом впровадження підсистем IMS.

Еволюційний шлях NGN по функціональності та мети, можна розділити наступним чином:

-IP-транспорт. Використання пакетної мережі для переносу голосу, для цього необхідні транспортні шлюзи та програмні комутатори, тобто побудова пакетної транспортної мережі.

-мультисервісний доступ, надання доступу до різних послуг

-послуги нового покоління на основі платформи IMS.

На рис. 1 представлена спрощена схема архітектури IMS. На ній зображені тільки основні функціональні елементи архітектури, сертифікованої 3GPP. Далі розглядаються дві мережі: ТМЗК і IMS, між якими організовано взаємодію. Виклики, що створюються в мережі ТМЗК, потрапляють через обладнання шлюзів в мережу IMS, а саме на гнучкий комутатор (Softswitch) (SS), який виконує функції сигнального шлюзу (SG) і транзитного медіашлюзу (TG) одночасно.

Від гнучкого комутатора SS сигнальна інформація надходить на функціональні елементи підсистеми IMS: взаємодії (I-CSCF), проксінг (P-CSCF) і обслуговування (S-CSCF), де починається процес обслуговування виклику. Залежно від типу інформації, що передається та необхідної послуги для обслуговування виклику може бути також задіяна функція медіаресурсів MRF і / або сервер (и) додатків (AS). Необхідні при обслуговуванні викликів абонентські дані зчитуються з сервера домашніх абонентів HSS.

Надання різноманітних послуг на базі єдиної пакетної мережі NGN вимагає гнучкої підтримки якості цих послуг. Підтримка QoS являється фундаментальним вимогою до IMS. При організації кожного сеансу для користувача устаткування сповіщає IMS про свої можливості і свої вимоги до QoS. За допомогою протоколу SIP можливо врахувати такі параметри, як тип і напрямок передачі даних, швидкість, розмір пакетів, використання RTP, необхідна ширина смуги пропускання. IMS дозволяє управляти якістю зв'язку, яке отримує той чи інший користувач, і таким чином диференціювати користувачів і надані їм послуги.

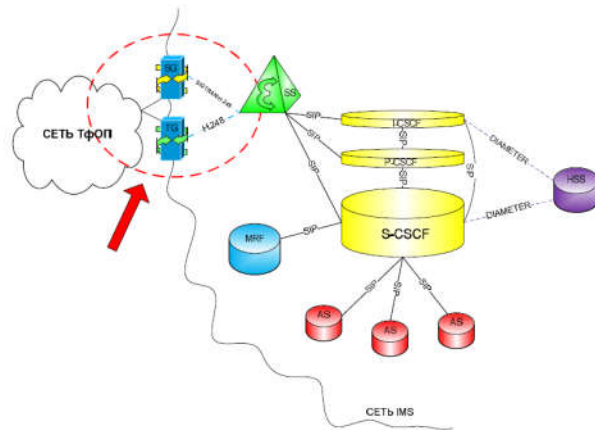


Рис.1.Спрощена схема архітектуриIMS

Ще одним фактором є ускладнення системи нарахування плати за мультимедійні сеанси зв'язку. Якщо оператор не бере уваги характер трафіку мультимедійного сеансу, він може нарахувати плату за нього тільки поверхнево - на підставі обсягу переданих даних. При цьому користувачеві стає невідібно користуватися одними послугами (створюють великий обсяг трафіку, наприклад відео), а оператору стає невідібно надавати інші (створюють незначний обсяг трафіку, наприклад Instant Messaging).

Якщо оператор обізнаний про характер переданого трафіку, він може використовувати в системі начислення плати більш ефективні бізнес-моделі, що несуть вигоду і йому і користувачам. Крім того, IMS дає можливість оператору впроваджувати послуги, створені сторонніми розробниками або навіть самим оператором, а не виробниками телекомунікаційного обладнання. Це дозволяє інтегрувати різні послуги і надає широкі можливості персоналізації і збільшення кількості послуг.

Концепція IMS передбачає горизонтальну архітектуру, що дозволяє оператору просто і економічно впроваджувати нові персоналізовані послуги, причому користувачі можуть в одному і тому ж сеансі зв'язку отримати доступ до різних послуг (рис. 2).

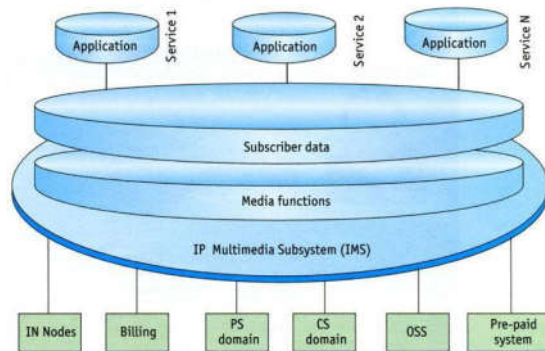


Рис.2.Горизонтальна архітектура IMS

Незважаючи на досить широкий спектр послуг, що надається IMS, на сьогодні найбільш важливу роль відіграє двосторонній аудіо / відео зв'язок.

Для цього архітектура IMS повинна підтримувати сеанси мультимедійного зв'язку в IP-мережах, причому такий зв'язок має бути доступна користувачу як в домашній, так і в гостьовій мережах. Крім описаних вище,

IMS забезпечує наступні функціональні можливості: взаємодію з іншими мережами, інваріантність доступу, створення послуг і управління ними, роумінг, захист інформації, нарахування плати.

### Література

1. Гольдштейн, А.Б. Softswitch/ А.Б. Гольдштейн, Б.С. Гольдштейн. – СПб. : BHV, 2006.
- 2.Гольдштейн, Б.С. Протокол SIP / Б.С. Гольдштейн, А.А. Зарубин, В.В.Саморезов; Серия «Телекоммуникационные протоколы». – СПб. : БХВ – СПб, 2005.
- 3.Ергалиев Д.С.,Тулегулов А.Д.Мусагулова Ж.С.Муқанова А. Анализ надежности сетей следующего поколения NGN/IMS. Конвергенция сетей связи./ <https://cyberleninka.ru>

### Referens

1. Goldshtejn, A.B. Softswitch/ A.B. Goldshtejn, B.S. Goldshtejn. – spb. : bhv, 2006.
- 2.Goldshtejn, B.S. protokol SIP / .B.S. Goldshtejn, A.A. Zarubin, V.V.Samorezov; seriya «Telekommunikacionnye protokoly». – SPB. : bxv – spb, 2005.
- 3.Ergaliev D.S.,Tulegulov A.D.Musagulova zh.s.Mukanova a/Analiz nadezhnosti setej sleduyushhego pokoleniya ngn/imsyu kovengerciya setej svyazi./ <https://cyberleninka.ru>.

## РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЗАВАДИ ВІД СУСІДНЬОГО СТІЛЬНИКА

Розглянуто вплив мобільної станції на базову станцію сусіднього стільника. Проведений розрахунок потужності завади при пересуванні МС.

**Ключові слова:** стільникова мережа, завада, потужність

R.G. BYKOV

Odessa national academy of telecommunication a.n. O.S. Popov  
rbykov@ukr.net

## CALCULATION OF THE POWER OF THE INTERFERENCE FROM THE NEIGHBORING CELL

**Annotation** – In the modern world, an important place is occupied by mobile communications. Currently, in most countries, the number of people using mobile communications exceeds the number of fixed network subscribers. All generations of radio communication are one in one: to build a network, they use the separation of the service area into hexagonal cells. Exactly this network structure has solved the problem of saving radio frequency channels by reusing the allocated frequency resource with the help of the spatial spacing of the transceivers with coincident frequencies. In other words, the cellular topology made it possible to multiply the capacity of telecommunication networks in comparison with radial networks without degrading the quality of communication and without expanding the allocated frequency band. However, since the operating frequencies in the network cells are repeated, then their repeated use leads to mutual inter-system interference. Furthermore, interference can occur both on the uplink and downlink, depending on the mobile communication standard.. The standard cdmaOne (IS-95) has a direct and reverse channel. A direct channel is a channel from a base station to a mobile station characterized by a synchronous mode of operation. For this purpose, in the direct channel, two logical channels are used: the pilot channel and the synchronization channel. In synchronous mode there are no interferences from neighboring base stations. Reverse channel - channel from the mobile station to the base station. It is characterized by asynchronous mode of operation, in which mobile stations operating in adjacent cells, become a barrier to the base station in a given cell.

In this work the influence of the mobile station on the base station of the neighboring cell is considered. The calculation of the interference power when moving the mobile station is carried out.

**Keywords:** cellular network, interference, power

При роботі мобільної станції (МС) у стільниковій мережі, ця МС має забезпечувати у своєму стільнику постійну потужність на вході приймача  $БС_1$ . Тому при зміні відстані між МС і  $БС_1$ , вихідна потужність  $P_{MS}$  повинна змінюватись. У той же час, сигнал від МС є завадою для БС сусіднього стільника, і при переміщенні МС потужність завади на вході  $БС_0$  також може змінюватись. Тому була поставлена задача визначення, в якому діапазоні може змінюватись потужність завади на вході  $БС_0$  при переміщенні  $МС_1$  у стільнику  $БС_1$  за траєкторією  $A-B-C$ . Схема використаної стільникової мережі показана на рис. 1.

На цьому рисунку прийнято, що центр стільника з індексом 0 розміщується на початку координат. Координати  $БС_1$  наступні:

$$x_1 = \sqrt{3}R; y_1 = 0.$$

Початкові дані наведені у табл. 1:

Таблиця 1 – Початкові дані

Радіус стільника, км	2
Робоча частота $МС_1$ , МГц	824,665
Необхідна потужність сигналу на вході $БС_1$ , Вт	$10^{-9}$
Коефіцієнт підсилення антени $МС_1$ , дБ	0
Коефіцієнт підсилення антени БС, дБ	16

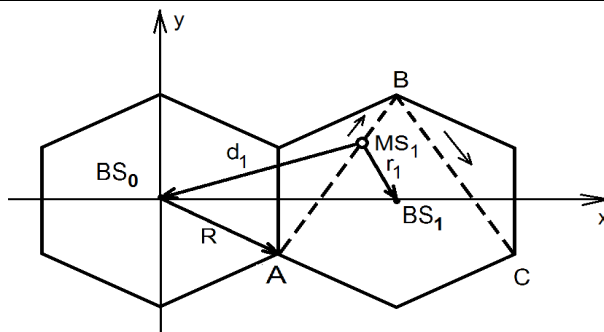


Рис.1 – Спрощена схема стільникової мережі



Спочатку визначимо, як змінюється потужність завади при переміщенні  $MC_1$  за траєкторією  $A - B$ . Її координати у даному випадку змінюються наступним чином:

$$x_0 + \frac{\sqrt{3}R}{2} \leq x_m \leq x_0 + \sqrt{3}R;$$

$$y_m = \sqrt{3}x_m - 2R.$$

Тоді відстань  $r_1$  між  $MC_1$  і  $BC_1$ :

$$r_1 = \sqrt{(x_m - x_1)^2 + (y_m - y_1)^2} \quad 1)$$

Якщо потужність на вході  $BC_1$  незмінна, то потужність на виході передавача  $MC_1$  розраховується за наступною формулою:

$$P_{T_{MS1}} = \frac{16P_s \pi^2 r_1^2}{G_t G_r \lambda^2}, \quad 2)$$

де:  $P_s$  – потужність на вході  $BC_1$ ;

$G_t$  – коефіцієнт підсилення антени  $MC_1$ ;

$G_r$  – коефіцієнт підсилення антени  $BC$ ;

$\lambda$  – довжина хвилі  $MC_1$ .

Відстань між  $MC_1$  і  $BC_0$ :

$$d_1 = \sqrt{(x_m - x_0)^2 + (y_m - y_0)^2} \quad 3)$$

Тоді потужність завади на вході приймача  $BC_0$  визначається так:

$$P_{зав} = \frac{P_{T_{MS1}} G_t G_r \lambda^2}{16\pi^2 d_1^2} \quad 4)$$

При переміщенні  $MC_1$  за траєкторією  $B - C$  її координати:

$$x_0 + \sqrt{3}R \leq x_m \leq x_0 + \frac{3\sqrt{3}R}{2};$$

$$y_m = -\sqrt{3}x_m + 4R.$$

Потужність завади визначається за формулами (1) – (4), але з новими координатами. Нормована потужність завади на вході приймача  $BC_0$  від передавача  $MC_1$  під час його руху зображена на рис.2.

Таким чином, максимальний рівень завади спостерігається у випадку, коли  $MC_1$  рівновіддалена від  $BC_0$  та  $BC_1$  (точка А). Найменше значення нормованої потужності завади становить 0.0522. Також необхідно відзначити два мінімуми рівня завади. Вони виникають у точках мінімального віддалення  $MC_1$  від  $BC_1$  під час руху  $MC_1$  за траєкторією  $A - B$  та  $B - C$  відповідно.

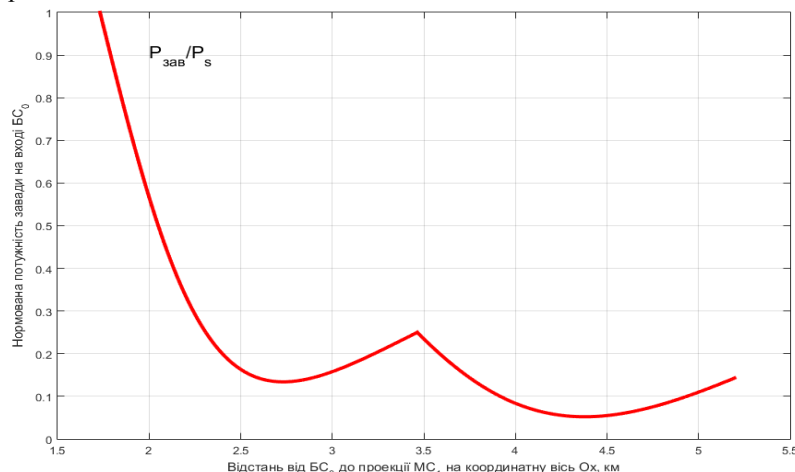


Рис. 2 – Результат розрахунків потужності завади при переміщенні мобільної станції

### Література

1. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами: учеб. пособ./ Сукачев Э.А.: [3-е изд., испр. и доп.]. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 256 с.
2. Берлин А. Н. Цифровые сотовые системы связи/ Берлин А. Н. – М.: Эко-Трендз, 2007. – 296 с.
3. Берлин А. Н. Сотовые системы связи: учеб. пособ./ Берлин А. Н. – М.: БИНОМ, 2009. – 360 с.

### References

1. Sukachyov E.A. Sotovyie seti radiosvyazi s podvizhnyimi ob'ektami: ucheb. posob./ Sukachev E.A.: [3-e izd., ispr. i dop.]. – Odessa: ONAS im. A.S. Popova, 2013. – 256 s.
2. Berlin A. N. Tsifrovyie sotovyie sistemyi svyazi/ Berlin A. N. – M.: Eko-Trendz, 2007. – 296s.
3. Berlin A. N. Sotovyie sistemyi svyazi: ucheb. posob./ Berlin A. N. – M.: BINOM, 2009. – 360s.

## ПЕРСПЕКТИВА ПЕРЕХОДА К СЕТИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ MIMO И LTE

**Аннотация:** Исследуются как общие отличия предполагаемой сети 5G от своей предшественницы 4G, так и особенности формирования луча диаграммы направленности на предполагаемых антеннах сети пятого поколения. Оценивается пропускная способность MIMO радиоканала для нескольких конфигураций антенных систем.

**Ключевые слова:** 5G, MIMO, диаграмма направленности антенны, пропускная способность, базовая станция, радиолиния.

E.A. SUKACHEV, A.A. VAKARCHUK, S.V. SIDEN, Y.G.SMEKHOV

O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications

sunny120606@gmail.com

## THE PERSPECTIVE OF TRANSITION TO THE NETWORK OF THE FIFTH GENERATION ON THE BASIS OF TECHNOLOGY MIMO AND LTE

**Annotation:** In connection with the widespread use of wireless devices in everyday life, there is a problem with the choice of a convenient technology that meets the requirements of modern man and the world. In this publication, the way of transition from 4G to 5G cellular communication generation is considered. The general differences and similarities between the perspective fifth generation and the fourth generation of LTE radio access networks actively used in the world are analyzed. A prototype from Verizon is considered, and the technical characteristics of this standard are compared with the existing LTE Release 8-14. A quantitative evaluation of the increase in the efficiency of radio systems built using the 5G technology is made. The ways of implementing the fifth generation radio access system from the point of view of the application of antenna systems for providing high-quality services are defined. The features of the formation of the main lobe of the antenna pattern of the base station antennas based on the technology of multiple transmit and receive antennas using the MIMO spatial coding method are considered. Possible ways of forming the directivity pattern and configuration of the MIMO system are analyzed. The main parameter of the modern radio access system is estimated - the throughput of the MIMO radio channel for several antenna system configurations. The quantitative indicators of this parameter are obtained for three variations of the location of subscribers in a cell and for two configurations of the MIMO system. The publication compares the bandwidth of the MIMO radio channel within the LTE Release 8-14 standard and Verizon 5GTF. Appropriate conclusions have been made on the choice of antenna system configurations in order to increase the quality of the services provided. It can be seen from these computations that with the same transmission parameters and MIMO radio link configurations, the throughput of the 5G system is about 5 times better than its predecessor. This will increase the speed of information transmission in such a system, which will lead to an increase in the efficiency of such a system.

**Key words:** 5G, MIMO, antenna pattern, bandwidth, base station, radio link.

Как известно [1], технология мобильной связи пятого поколения должна обеспечивать лучшую производительность, чем предыдущие поколения. Например, при переходе от 3G к 4G теоретические пиковые скорости передачи данных увеличивались со скоростью от 2 Мбит/с до 150 Мбит/с. Впоследствии LTE-Advanced Pro достигла максимальных скоростей передачи данных в Гбит/с, и недавно продемонстрировала пропускную способность данных 1,2 Гбит/с. Однако 5G не только нацеливается на более высокие скорости передачи данных, но и разнообразные приложения, которые необходимо абонентам в будущем. В марте 2017 года группа стандартов 3GPP утвердила новый стандарт для 5G под названием – нестандартное радио(NSA). Этот стандарт позволяет операторам мобильной связи предоставлять услугу мобильного широкополосного доступа 5G за счет использования существующей инфраструктуры 4G. В результате ожидается, что развертывание мобильных устройств 5G начнется уже в 2019 году, а начальные реализации 5G, как ожидается, будут использовать частоты между 3,3 и 3,8 ГГц. На рис. 1 проиллюстрировано каким образом мобильная широкополосная связь 5G будет дополнять 4G, а не заменять его.

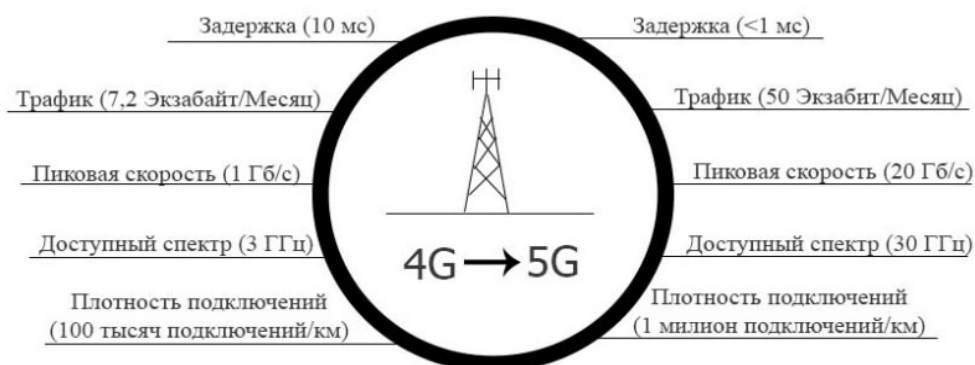


Рис. 1. Сравнение возможностей 4G и 5G

Рассмотрим на примере стандарта Verizon 5G, который использует существующую инфраструктуру, обеспечиваемую стандартом LTE 3GPP. Сравнение всех основных технических параметров этих стандартов приведено в табл. 1.

Таблица 1- Сравнение V5GTF и LTE.

Основные параметры	LTE Release 8-14	Verizon 5GTF
Модуляция в нисходящей линии (DL)	OFDM	OFDM
Модуляция в восходящей линии (UL)	DFT-S-OFDM (SC-FDMA)	OFDM
Длина подкадра	1 мс	0,2 мс
Интервал между поднесущими	15 кГц	75 кГц
Частота дискретизации	30,72 МГц	153,6 МГц
Пропускная способность	20 МГц	100 МГц
Длина символа OFDM, без CP	66,67 мкс	13,33 мкс
Длина фрейма	10 мс	10 мс
Подкадры/Слоты	10/20	50/100
Тип циклического префикса (CP)	Нормальные и расширенные	Только нормальные
Мультиплексирование	FDD/TDD	TDD
Максимальное количество ресурсных блоков	6, 15, 25, 50, 75, 100	100
DL/UL кодирование	Turbo	LDPC

Одним из важнейших параметров для систем радиодоступа будущих поколений является пропускная способность, как один из факторов эффективности такой системы. Приведём пример оценки пропускной способности для мобильных систем пятого и четвёртого поколений. Как правило, системы мобильной связи построенные на основе технологии MIMO (multiple input - multiple output). Рассмотрим случай, когда используется частотный дуплекс (FDD - Frequency-division Duplexing), из табл.1 видно, что полоса частот необходима – 20 МГц, а для систем 5 поколения – 100 МГц. Значение отношения сигнал/шум в ячейке меняется с удалением абонента от базовой станции до границы ячейки. Допустим эти значения будут  $C/Ш_1 = 16$ дБ возле БС,  $C/Ш_2 = 9$ дБ на пути к границе ячейки и  $C/Ш_3 = 6$ дБ на границе ячейки. В таком случае как известно [4], пропускная способность MIMO-радиолиний определяется по формуле [4]

$$C_{MIMO} = M f_k \log_2(1 + C/Ш), \quad (1)$$

где  $M = \min\{M_{\text{прд}} \times M_{\text{пр}}\}$  – минимальное количество антенн в конфигурации MIMO-радиолинии,  $f_k$  – ширина спектра радиоканала,  $C/Ш$  – отношение сигнал/шум.

Определим как меняется пропускная способность MIMO-радиолинии в направлении от базовой станции к мобильной станции в зависимости от величины значения  $C/Ш$  при условии, что конфигурация MIMO – радиолинии будут :  $5 \times 3$  и  $4 \times 4$ . Т.к. в системе четвёртого поколения используется частотный дуплекс, то ширина спектра радиоканала на линии вниз будет составлять  $f_k = 10$  МГц из выделенной полосы 20 МГц. Приведем расчеты для двух конфигураций:

- 1) при условии, если конфигурация  $5 \times 3$

$$C_{MIMO\_1} = 3 \cdot 10 \cdot 10^6 \log_2(1 + 39,8) = 160 \text{ Мбит/с}$$

- 2) при условии, если конфигурация  $4 \times 4$

$$C_{MIMO\_1} = 4 \cdot 10 \cdot 10^6 \log_2(1 + 39,8) = 214 \text{ Мбит/с}$$

Для системы пятого поколения в плане частот выделено полосу 100 МГц и ширина радиоканала на линии вниз составит  $f_k = 50$  МГц.

- 1) при условии, если конфигурация  $5 \times 3$

$$C_{MIMO\_1} = 3 \cdot 50 \cdot 10^6 \log_2(1 + 39,8) = 802 \text{ Мбит/с}$$

- 2) при условии, если конфигурация  $4 \times 4$

$$C_{MIMO\_1} = 4 \cdot 50 \cdot 10^6 \log_2(1 + 39,8) = 1070 \text{ Мбит/с}$$

Полученные в итоге расчёты для всех трех зон сведены в табл.2.

Таблица 2 – Оценка пропускной способности MIMO-радиолинии двух конфигураций.

	LTE (20 МГц)		5G (100 МГц)	
	$5 \times 3$	$4 \times 4$	$5 \times 3$	$4 \times 4$
1	160 Мбит/с	214 Мбит/с	802 Мбит/с	1070 Мбит/с
2	95 Мбит/с	126 Мбит/с	473 Мбит/с	630 Мбит/с
3	70 Мбит/с	91 Мбит/с	343 Мбит/с	458 Мбит/с

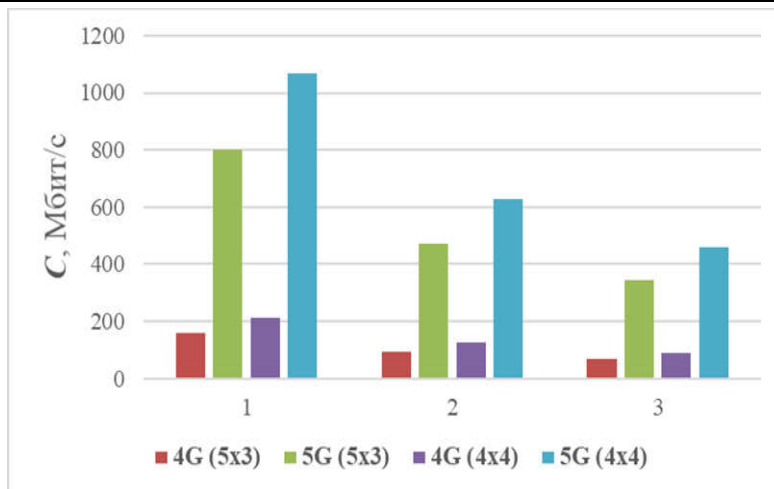


Рис. 2. Сравнение пропускной способности ММО-радиолинии двух конфигураций

Из данных вычислений видно, что при тех же параметрах передачи и конфигурациях ММО-радиолинии пропускная способность системы 5G демонстрирует примерно в 5 раз лучшие показатели, чем ее предшественница. Это позволит увеличить скорость передачи информации в такой системе, что приведет к повышению эффективности такой системы.

Из выше сказанного можно сделать вывод, что используемые антенные технологии дают существенное значение для эффективности систем как 4-го, так и 5-го поколений. Анализируя доступную научную литературу было отмечено, что при создании сети 5G безусловно будут использоваться ЦААР (Цифровые адаптивные антенные решетки). Однако в настоящее время обсуждается переход на mmWave технологию, что связано с определёнными сложностями. Для поставщиков базовых станций (BTS) было естественно исследовать полосу частот до 6 ГГц, чтобы осуществить переход от массивных антенных систем построенных на платформе ММО до mmWave технологии. Это позволит сохранять основную архитектуру сетей четвертого поколения и усовершенствованные алгоритмы обработки информации для пространственного мультиплексирования лучей [3].

Как бы то ни было, из-за резкого увеличения пропускной способности канала, предлагаемого mmWave, и необходимости во многих активных каналах, существует серьезная обеспокоенность в связи с тем, что величина рассеиваемой мощности такой системы будет непомерно высокой. Таким образом, поставщики исследуют архитектуры с гибридным способом формирования луча, что позволяет обеспечить гибкость между количеством каналов основной полосы и количеством активных радиочастотных каналов [2].

Предполагая, что для пригородного фиксированного беспроводного радиодоступа не требуется широкомасштабное сканирование, а хорошо спроектированная антенна обеспечивающая усиление до 14 дБи, в мире начато с конструкции приемопередатчика mmWave BTS, ориентированного на эффективную изотропную излучаемую мощность (EIRP) 65 дБм. Предполагая какими будут потери в радиолинии можно рассчитать необходимое количество приемопередатчиков, которые, в совокупности, обеспечивают 12 дБ цифрового усиления формирования луча по формуле [3]:

$$EIRP = G_{RF} (dB) + G_{ANT} (dBi) + P_{AVE\_TOTAL} (dBm)$$

$$EIRP = 10 \log_{10} (N_{COLUMNS}) + 10 \log_{10} (N_{FAS}) + G_{ANT} + P_{AVE\_CHANNEL} (dBm). \quad (2)$$

Из всего выше сказанного можно сделать вывод:

1. Переход к технологиям пятого поколения даст возможность повысить эффективность сетей радиодоступа, по сравнению с существующими. Однако возможность осуществления этого перехода за счет совмещения архитектуры сети предыдущего, 4-го поколения, сократит экономические затраты.
2. Выбор конфигурации антенной системы, построенной на базе технологии ММО, может дать выигрыш в пять раз по пропускной способности радиоканала.
3. Рассмотренный и предложенные выше идеи в скором времени дадут новый толчок в развитии адаптивных радиосистем для передачи информации, будь то голосовых данных, либо видеoinформации.

### Литература

1. "The world's first 5G RF front-end module": "Micro wave journal", Vol.60 No.12
2. "Pre-5G and 5G: Will the mmWave link work": "Micro wave journal", Vol.60 No.12
3. "5G fixed wireless access array and RF front-end trade-offs": "Micro wave journal", Vol.61 No.2
4. Тихвинский В.О. Сети мобильнойсвязиLTE: технологии и архитектура / Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. — М.: Эко-Трендз, 2010. — 284 с.

### References

1. "The world's first 5G RF front-end module": "Micro wave journal", Vol.60 No.12
2. "Pre-5G and 5G: Will the mmWave link work": "Micro wave journal", Vol.60 No.12
3. "5G fixed wireless access array and RF front-end trade-offs": "Micro wave journal", Vol.61 No.2
4. Tihvinskiy V.O. Setimobilnoysvyazi LTE: tehnologii i arhitektura / Tihvinskiy V.O., Terentev S.V., Yurchuk A.B. — М.: Eko-Trendz, 2010. — P. 284 .

А.В. ОНАЦКИЙ<sup>1</sup>, О.В. ЖАРОВА<sup>2</sup><sup>1</sup> Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,  
onatsky@meta.ua<sup>2</sup> Одесский национальный политехнический университет,  
Ksenia.gds@gmail.com

## КРИПТОГРАФИЧЕСКИЙ ПРОТОКОЛ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА С НУЛЕВЫМ РАЗГЛАШЕНИЕМ НА ОСНОВЕ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИНОМИАЛЬНОГО КОЛЬЦА

**Аннотация.** Предложен криптографический протокол доказательства с нулевым разглашением на основе алгебраической структуры полиномиального кольца. Определена полнота и корректность протокола. Программная верификация криптографического протокола была выполнена с помощью программных модулей OFMC и CLAtSe. Для проверки криптографического протокола на устойчивость к атакам злоумышленника были применены средства пакета Security Protocol Animator для AVISPA.

**Ключевые слова:** криптосистема с открытым ключом, решетчатая криптосистема, криптографический протокол, идентификация, аутентификация, доказательство с нулевым разглашением.

A.V. ONATSKIY<sup>1</sup>, O.V. GAROVA<sup>2</sup><sup>1</sup> O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,  
onatsky@meta.ua<sup>2</sup> Odessa national polytechnic university,  
Ksenia.gds@gmail.com

## Cryptographic PROTOCOL ZERO-KNOWLEDGE PROOF BASED ON ALGEBRAIC STRUCTURE OF POLYNOMIAL RING

**Abstract.** Proposed cryptographic protocol with zero-knowledge proof based on algebraic structure of polynomial ring, allowing to establish the truth of allegation and does not convey any additional information about the approval. Cryptographic protocols based on zero-knowledge proof allow identification, key exchange and other cryptographic operations to be performed without leakage of sensitive information during the information exchange. The implementation of the cryptographic protocol of the zero-knowledge proof based on algebraic structure of polynomial ring allows to significantly reduce the size of the protocol parameters and increase the cryptographic stability (computational complexity of the hacking problem). The stability of the cryptographic protocol with zero-knowledge proof on Nth-degree TRuncated polynomial ring (NTRU) is provided by the difficulty of finding the shortest vector in a given numerical lattice, which in turn makes the protocol resistant to attacks on quantum computers. NTRU is the first public key cryptosystem not based on factorization or discrete logarithmic problems. The NTRU cryptosystem using on lattice cryptosystem that based on objects of a truncated polynomial ring. The completeness and correctness of the protocol is determined in the work, an example of calculation is given, the cryptographic protocol is modeled on the High-Level Protocol Specification Language, the model validation and verification of the protocol are performed. Software verification of the cryptographic protocol was performed using the software modules On the Fly Model Checker (OFMC) and Constraint Logic based Attack Searcher (CLAtSe). To validation the cryptographic protocol for resistance to intruder attacks was used the Security Protocol Animator package (SPAN) for Automated Validation of Internet Security Protocols and Applications (AVISPA).

**Keywords:** public key cryptosystem, lattice cryptosystem, cryptographic protocol, identification, authentication, zero-knowledge proof.

Применение открытых каналов передачи данных создает потенциальные возможности для действий нарушителей. Поэтому одной из важных задач обеспечения информационной безопасности при взаимодействии пользователей является использование методов и средств, позволяющих одной (проверяющей) стороне убедиться в подлинности другой (проверяемой) стороны. Протоколы идентификации и аутентификации можно рассматривать как вид интерактивного доказательства знания. Интерактивное доказательство – понятие теории сложности вычислений, составляющее основу понятия доказательства с нулевым разглашением (zero-knowledge proof – ZKP) [1...3]. Широкое распространение при идентификации получили криптографические протоколы ZKP на базе асимметричного шифрования, наиболее известными являются: Fiat-Shamir, Schnorr, Okamoto, Guillou-Quisquater, Brickell-McCurley, Feige-Fiat-Shamir [1...3]. В работах [4, 5] предложены криптографические протоколы ZKP на основе математического аппарата эллиптических кривых.

С развитием методов и средств криптоанализа, а также быстрого развития технологий и мощности вычислительных компьютерных систем, возникает необходимость увеличивать размеры общесистемных параметров протокола, вследствие чего увеличивается ресурсоемкость и сложность выполнения базовых операций в полях. Однако решение данного вопроса может быть достигнуто за счет реализации криптографических протоколов ZKP на основе алгебраической структуры полиномиального кольца, что позволит уменьшить размер параметров протокола и увеличить криптографическую стойкость (вычислительную сложность задачи взлома).

Целью работы является разработка криптографического протокола доказательства с нулевым разглашением на основе криптосистемы NTRU (Nth-degree TRuncated polynomial ring), которая стойкая к

атакам, осуществляемым на квантовых компьютерах. Криптосистема NTRU основана на решетчатой криптосистеме (lattice cryptosystem), в которой используются операции над кольцом усеченных многочленов степени, не превосходящей  $n - 1$ . В системе шифрования NTRU используем следующие обозначения:  $n$  – размерность кольца многочленов;  $p$  и  $q$  – натуральные взаимно простые числа  $\text{НОД}(p, q) = 1$ . Пусть числа  $n, p, q$  известны участникам информационного процесса;  $g(x)$  – многочлен в кольце  $Z[X]/(q, X^n - 1)$  предварительно согласован;  $f(x)$  – многочлен в кольце  $Z[X]/(X^n - 1)$ , причем для многочлена  $f(x)$  существуют обратные многочлены  $F_p(x)$  и  $F_q(x)$ . Абонент  $A$  вычисляет значения открытого ключа  $Y_a(x) = F_q(x)g(x)$ , который передает абоненту  $B$  вместе с заявкой  $\gamma$ . Абонент  $B$  выбирает случайный многочлен  $r(x)$ , сообщение  $M(x)$  и вычисляет запрос –  $y(x) = pY_a(x)r(x) + M(x)$ , который передает абоненту  $A$ . Абонент  $A$  определяет  $M(x) = (F_p(x)(f(x)y(x)(q, x^n - 1)))(p, x^n - 1)$  и передает ответ –  $X(x) = f(x)M(x)h(x)$  абоненту  $B$ . Абонент  $B$  проверяет равенство  $Y_a(x)X(x) = \gamma(x)M(x)g(x) = h(x)M(x)g(x)$ .

*Полнота протокола.* Абонент  $A$  расшифровывает сообщение  $M(x)$ , пользуясь своим секретным ключом. Докажем. Абонент  $A$  получает от абонента  $B$  запрос  $y(x) = (M(x) + pY_a(x)r(x))(q, x^n - 1)$ , так как  $Y_a(x) = (F_q(x)g(x))(q, x^n - 1)$ , то  $y(x) = (M(x) + pF_q(x)g(x)r(x))(q, x^n - 1)$ . Умножим левую и правую части равенства  $y(x)$  на  $f(x)$  по модулю  $q$ :

$$\begin{aligned} (f(x)y(x))(q, x^n - 1) &= (f(x)(M(x) + pF_q(x)g(x)r(x)))(q, x^n - 1); \\ (f(x)y(x))(q, x^n - 1) &= (f(x)M(x) + pg(x)r(x))(q, x^n - 1). \end{aligned} \quad (1)$$

Умножим левую и правую части полученного равенства (1) на  $F_p(x)$  по модулю  $p$ :

$$\begin{aligned} (F_p(x)(f(x)y(x)(q, x^n - 1)))(p, x^n - 1) &= (F_p(x)(f(x)M(x) + pg(x)r(x))(q, x^n - 1))(p, x^n - 1) = \\ &= (F_p(x)(f(x)M(x)(q, x^n - 1)))(p, x^n - 1) + (F_p(x)pg(x)r(x))(q, x^n - 1)(p, x^n - 1) = M(x). \end{aligned}$$

Абонент  $A$  знает значения  $f(x)$  и  $F_p(x)$ , поэтому он в состоянии ответить на любые запросы абонента  $B$ . При этом проверяющий абонент  $B$  убеждается в справедливости соотношения

$$Y_a(x)X(x) = F_q(x)g(x)f(x)M(x)\gamma(x) = h(x)M(x)g(x).$$

Для анализа предложенного криптографического протокола ZKP NTRU на устойчивость к атакам противника был применен программный продукт AVISPA [6]. Выполнена проверка модели протокола с помощью Protocol Simulation пакета SPAN [6]. Программная верификация протокола и устойчивость протокола к атакам противника была выполнена с помощью программных модулей OFMC и CLAtSe AVISPA [7]. Стойкость протокола ZKP NTRU обеспечивается трудностью нахождения кратчайшего вектора в заданной числовой решетке, что в свою очередь делает протокол устойчивым к атакам на квантовых компьютерах.

#### Литература

1. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си / Шнайер Б. – М.: Триумф, 2002. – 816 с.
2. Молдовян А.А. Протоколы аутентификации с нулевым разглашением секрета / А.А. Молдовян, Д.Н. Молдовян, А.Б. Левина. – СПб: Университет ИТМО, 2016. – 55 с.
3. Menezes A. Handbook of Applied Cryptography / A. Menezes, P. van Oorschot, S. Vanstone. – CRC Press, 1996. – 816 p.
4. Онацкий А.В. Параллельная схема идентификации с нулевым разглашением на эллиптических кривых / А.В. Онацкий // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2014. Частина 1. – № 2. – С. 109 – 116.
5. Онацкий А.В. Криптографический протокол доказательства с нулевым разглашением на эллиптических кривых с использованием случайных сеансовых ключей и сообщений / А.В. Онацкий, О.В. Жарова // Научные труды ОНАС им. А.С. Попова. – 2017. – № 2. – С. 123 – 130.
6. AVISPA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.avispa-project.org/>.
7. An On-The-Fly Model-Checker for Security Protocol Analysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.avispa-project.org/papers/ofmc-esorics03.pdf>

#### References

1. Shnajer B. Prikladnaja kriptografija. Protokoly, algoritmy, ishodnye teksty na jazyke Si / Shnajer B. – M.: Triumf, 2002. – 816 s.
2. Moldovjan A.A. Protokoly autentifikacii s nulevym razglasheniem sekreta / A.A. Moldovjan, D.N. Moldovjan, A.B. Levina. – SPb: Universitet ITMO, 2016. – 55 s.
3. Menezes A. Handbook of Applied Cryptography / A. Menezes, P. van Oorschot, S. Vanstone. – CRC Press, 1996. – 816 p.
4. Onackij A.V. Parallelnaja shema identifikacii s nulevym razglasheniem na jellipticheskijh krivyh / A.V. Onackij // Naukovi praci ONAZ im. O.S. Popova. – 2014. Chastina 1. – № 2. – S. 109 – 116.
5. Onackij A.V. Kriptograficheskij protokol dokazatel'stva s nulevym razglasheniem na jellipticheskijh krivyh s ispol'zovaniem sluchajnyh seansovyh kljuchej i soobshhenij / A.V. Onackij, O.V. Zharova // Nauchnye trudy ONAS im. A.S. Popova. – 2017. – № 2. – S. 123 – 130.
6. AVISPA [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.avispa-project.org/>
7. An On-The-Fly Model-Checker for Security Protocol Analysis [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.avispa-project.org/papers/ofmc-esorics03.pdf>

А.И. РОМАНОВ, Д.М. ФЕДЮШИНА, Т.Т. ДОНГ

Национальный технический университет Украины  
"КПИ имени Игоря Сикорского" Украина, Киев, 03056, пер. Индустриальный, 2  
e-mail: a\_i\_romanov@ukr.net, robinson.kruzo375@gmail.com, dongthitho1993@gmail.com

## ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ LI-FI И ПУТИ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

**Аннотация:** В работе анализируется принцип построения устройств на базе технологии Li-Fi. Рассмотрена структурно – функциональная схема трактов приема и передачи сигналов устройств физического уровня. Приведена обобщенная структура беспроводной системы Li-Fi и дан анализ процесса обмена информацией между конечными пользователями. Отмечена перспективность данной технологии, ее возможности в направлении повышения пропускной способности и качества обслуживания систем беспроводного доступа.

**Ключевые слова:** Visible Light Communication, VLC Personal Area Networks, VLC, Li-Fi, VPAN, ITS.

O.I. ROMANOV, D.M. FEDIUSHYNA, T.T. DONG

National Technical University of Ukraine  
"KPI named after Igor Sikorsky" Ukraine, Kiev, 03056, per. Industrial, 2  
e-mail: a\_i\_romanov@ukr.net, robinson.kruzo375@gmail.com, dongthitho1993@gmail.com

## THE PRINCIPLE OF CONSTRUCTION THE WIRELESS LI-FI NETWORK AND THE WAYS OF ITS PRACTICAL IMPLEMENTATION

**Abstract:** Currently Wi-Fi technology is widely used in all public places: at homes, hotels, airports, etc. The usage of wireless data technology increases in geometric progression each year, but the range of available frequencies is becoming smaller and smaller. As a result, higher frequencies are used, along with the increase of radio frequency interference. In order to avoid similar problems in the future, the Li-Fi technology was proposed as a flexible approach that would meet the increasingly important requirements of internal wireless broadband access networks. The considered technology is innovative, at nowadays it only reveals all its potentials in achieving not only high data rates and electromagnetic compatibility, but it also provides a high economic performance by using the already existing lighting infrastructure based on LED lamps. According to recent researches, Li-Fi can develop data rates of over Gbps, which is quite enough to withstand competition in the field of broadband wireless communications.

In this particular paper, the principle of constructing devices based on Li-Fi technology is analyzed. The structural - functional scheme of the receiving and transmitting modules of physical layer devices is considered. The generalized structure of the wireless Li-Fi system is presented and the analysis of the process of information exchange between end users is given. The prospects of this technology, its capabilities in the direction of increasing the capacity and quality of servicing of wireless access systems are noted.

The results can be used to build a fundamentally new type of data transmission networks in many areas, especially those that are sensitive to radio waves, such as airplanes or surgical rooms. The proposed Li-Fi network is offered for deployment for internal wireless networks: meeting rooms, general offices, shopping centers, airports, railways, hospitals, museums, aircraft cabins, libraries, and so on.

**Keywords:** Visible Light Communication, VLC Personal Area Networks, VLC, Li-Fi, VPAN, ITS.

### Введение

В связи с увеличением количества технологических разработок телекоммуникационных устройств, увеличения числа разнообразных приложений, их номенклатуры и предоставляемых услуг, предоставляемых пользователям, значительно возросли требования к скорости передачи данных. Поэтому, сети передачи данных в большинстве строятся с помощью оптоволоконных линий, позволяющих достичь скорости передачи данных порядка Тб / с. Однако, не всегда имеется возможность развернуть кабельную инфраструктуру между конечными пользователями. В этих условиях, роль систем беспроводной связи постоянно возрастает. Особенно широко беспроводный доступ используется на последней миле, в домах, в офисных помещениях и других местах общего пользования.

В данной работе рассмотрен способ построения сети Li - Fi на базе технологии VLC (visible light communication) для обеспечения пользователей беспроводной связью в таких средах, как самолеты, больницы и т.д., где неудобно и опасно использовать радиочастотные волны [1]. Данная технология использует сигналы в интервале 380-780 нм. Таким образом, можно одновременно решить две задачи. Первая, это обеспечить качественное освещение помещений с использованием экономичных светодиодных ламп. Вторая, это использовать эту инфраструктуру для передачи высокоскоростной передачи данных [2].

### Принцип структурного-функционального построения беспроводной сети Li Fi на базе VLC

Один из возможных вариантов структурно - функциональной схема системы связи на базе технологии VLC приведена на рис. 1. Основными элементами системы VLC является передатчик (набор светодиодов), приемник (фотодетектор), блоки модуляции и демодуляции и т.д. [3, 5].

Рассмотрим назначение и функции элементов системы беспроводного доступа. Система состоит из двух частей - тракта передачи и тракта приема.

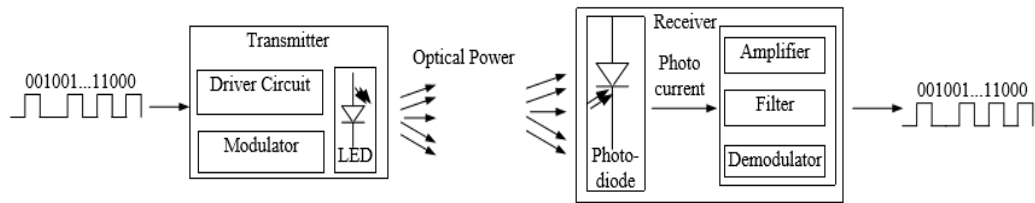


Рис. 1. Структурно - функциональной схема сети Li Fi на базе VLC

Тракт передачи:

Существуют различные источники света, которые удобно использовать для освещения. Однако, наиболее популярными считаются лазерные диоды (LD) и светодиоды (LED). Основное различие между LD и LED является то, что лазерные диоды являются когерентным источником света, а светодиоды - некогерентным. Поскольку в данной работе поддерживается концепция одновременного освещения и передачи данных, обсуждения LDs выходит за рамки данной работы. Итак, проанализировав рис. 1. Можем отметить: при передаче информации от одного пользователя к другому, сигнал будет проходить через специальную схему управления источником света, представленного в виде набора LED ламп. Данная схема управления (Driver circuit) используется для обеспечения электрической энергией системы освещения на базе светодиодных ламп. Она должна обеспечить достаточную величину тока, которая позволит светодиодам светить с необходимым уровнем яркости, при этом не повредив сам светодиод. Блок модуляции обеспечивает за вложение информационной составляющей в световой сигнал. На сегодня выбор способа модуляции довольно широк: амплитудная манипуляция, широтно-импульсная, модуляция цветом, и так далее. Но наиболее простой способ – это On-Off модуляция. То есть, система имеет два информационных значения мощности, соответствующих включенному и выключенному состоянию передатчика. Данный вид модуляции является составляющим элементом системы освещения, поэтому при передаче информации сигналы будут иметь разную скважность и будет наблюдаться небольшое изменение яркости сигнала. Чтобы избежать неприятных для человеческого глаза ощущений, используют компенсирующие паузы: при отсутствии передачи вводятся сигналы, которые позволяют сохранить яркость освещения на относительно постоянном уровне.

Тракт приема:

Фотодетектор поглощает фотоны, падающие на его поверхность через внешний интерфейс и генерирует электрический сигнал. Преобразование фотонной энергии в электрическую может быть достигнуто и альтернативным способом. Существует много типов фотоприемников, например, фоторезисторы или фототранзисторы, обладающие специфическими качествами. Однако, фотодиоды являются наиболее распространенными в качестве фотоприемника из-за их малого размера, высокой чувствительности и быстрой реакции. P-I-N (PIN) и лавинный фотодиод (APD) являются наиболее типичными примерами использования фотодиодов в качестве фотоприемников. Существует несколько наиболее важных требований, которым должен отвечать фотоприемник:

- чувствительность в определенном интервале длинны волны;
- длительный срок эксплуатации;
- высокая надежность;
- минимальное влияние температурных колебаний;
- умение подавлять шум (окружающей среды, затмения и т.д.) и тому подобное.

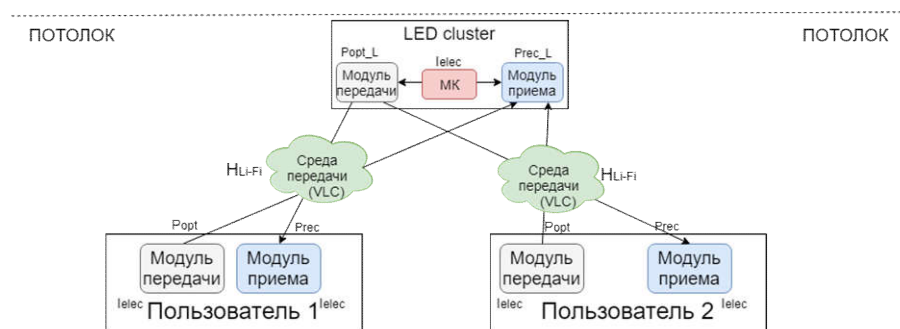


Рис. 2. Обобщенная структура сети Li Fi

После того, как оптический сигнал принят и преобразован в электрический с помощью фотодетектора, далее этот сигнал отфильтровывается от помех и усиливается с помощью соответствующих устройств. В данном случае было описана структура передачи и приема однонаправленной сети на базе VLC. Возможна также двусторонняя передача в системе Li-Fi, для этого вводят в сеть дополнительное устройство: разветвитель (duplexer). Duplexer используется для поддержки двусторонней связи путем



разделения переданного и принятого сигнала. Возможный вариант обобщенной структурной схемы такой сети приведен на рис. 2.

Наиболее важными элементами такой системы является модуль приема и модуль передачи. На рис.3 приведена детализация этих модулей. Показан примерный перечень элементов и их функциональное назначение.

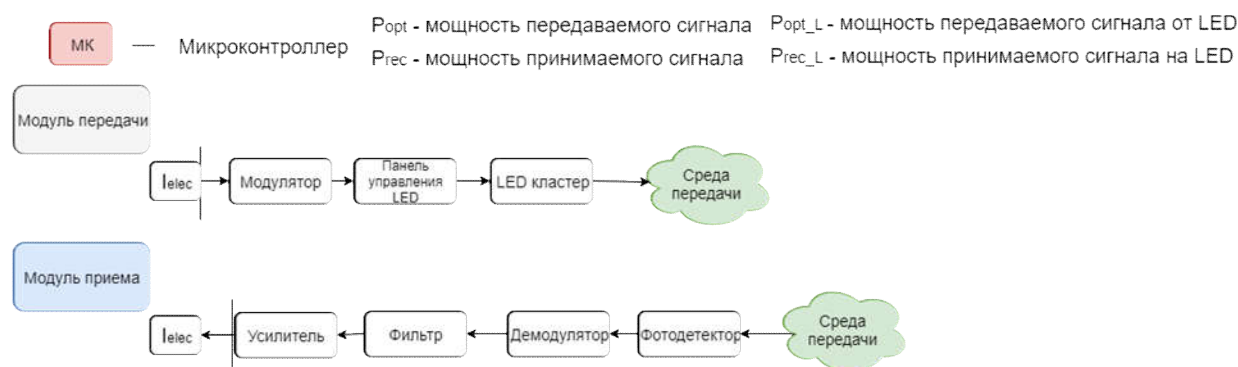


Рис. 3. Структурная схема модулей передачи и приема сети Li F

### Выводы

Таким образом, использование технологии Li-Fi является одним из наиболее перспективных направлений развития сетей беспроводного доступа, так как позволяет значительно расширить диапазон используемых частот, скорость передачи информации и качество обслуживания пользователей. Как показано в работе, практическая реализация сетей такого типа и особенно их физического уровня не имеет особых проблем. Уже есть лабораторные установки, позволяющие передавать информацию со скоростью 1 Гбит/с [4]. Разработан стандарт IEEE 802.15.7, в котором определены рекомендации к беспроводному интерфейсу физического уровня PHY и уровню управления доступом к среде MAC. Готовится к выпуску новый стандарт, который пока не утвержден, но рекомендован к использованию при проведении научных исследований. Некоторые страны начали подготовку к переходу на Li-Fi в сетях беспроводного доступа.

### Литература

[1] Farooq Aftab, Muhammad Nafees Ulfat khan, Shahzad Ali, School of Computer and Communication Engineering, University of Science and Technology Beijing china (USTB), "Light fidelity (li-fi) based indoor communication system", International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), Vol.8, No.3, May 2016.

[2] Svilen dimitrov, German Aerospace Center (DLR), Oberpfaffenhofen, Harald Haas, University of Edinburgh, "Principles of LED Light Communications", Cambridge University Press 2015.

[3] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), "802.15.7 IEEE Standard for Local Area Networks—Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light," 2011.

[4] Pengfei Hu, Parth H. Pathak, Aveek K. Das, Zhicheng Yang and Prasant Mohapatra, "PLiFi: Hybrid WiFi-VLC Networking using Power Lines", VLCS'16, October 03-07, 2016.

[5] Романов А.И., Донг Т.Т., Федюшина Д.М. Использование VLC в качестве базовой технологии при построении беспроводных LI FI сетей // Материалы XXII МНТК «Современные средства связи», Минск, Беларусь - 2017, С17-19.

ISBN 978-985-585-018-3.

### References

[1] Farooq Aftab, Muhammad Nafees Ulfat khan, Shahzad Ali, School of Computer and Communication Engineering, University of Science and Technology Beijing china (USTB), "Light fidelity (li-fi) based indoor communication system", International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC), Vol.8, No.3, May 2016.

[2] Svilen dimitrov, German Aerospace Center (DLR), Oberpfaffenhofen, Harald Haas, University of Edinburgh, "Principles of LED Light Communications", Cambridge University Press 2015.

[3] Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), "802.15.7 IEEE Standard for Local Area Networks—Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light," 2011.

[4] Pengfei Hu, Parth H. Pathak, Aveek K. Das, Zhicheng Yang and Prasant Mohapatra, "PLiFi: Hybrid WiFi-VLC Networking using Power Lines", VLCS'16, October 03-07, 2016.

[5] Romanov A.I., Dong T.T., Fediushyna D.M. Yspolzovanye VLC v kachestve bazovoi tekhnolohyy pry postroenyu besprovodnykh LI FI setei // Materials of XXII MNTK «Sovremennye sredstva sviazy», Minsk, Belarus - 2017, pages 17-19.

ISBN 978-985-585-018-3.

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ  
ЗА ОЦІНКОЮ СПЕКТЛ-СТРУКТУР

Основним критерієм надійності оптичного кабелю (ОК) є його термін служби. Проте оптичне волокно (ОВ) має ряд принципових відмінностей від електричної мідної жили. Оптичне волокно є значно чутливішим до механічних дій середовищем розповсюдження сигналу, чим мідна жила. Саме цей факт є вирішальним при прогнозуванні довгострокової надійності ОК.

Ключові слова: надійність, оптичний кабель.

O.E. ZEMLANSKIY  
Khmelnitsky National University

## FORECASTING THE RELIABILITY OF THE OPTICAL CABLE FOR ESTIMATION OF SPECT-STRUCTURE

The main criterion for reliability of an optical cable (OK) is its lifetime. However, optical fiber (OV) has a number of fundamental differences from electric copper conductors. Optical fiber is much more sensitive to mechanical actions than the medium of propagation of the signal, than copper conductor. This fact is decisive in predicting long-term reliability of the OK.

Key words: reliability, optical cable.

Основним критерієм надійності оптичного кабелю (ОК) є його термін служби. Згідно нормативним вимогам, термін служби ОК повинен бути не менше 25 років. В кінці 1980-х рр. російські кабельні заводи (наприклад, ЗАТ «Севкабельоптік» і ін.) приступили до освоєння технології виробництва оптичного кабелю. Виходячи з багаторічного досвіду виробництва електричного кабелю, багато конструкторських і технологічних завдань виробництва оптичного кабелю було вирішено достатньо легко – наприклад, вибір поліетилену для зовнішньої оболонки кабелю, технологія скручування шару бронювання з повива сталевого дроту і тому подібне. Проте оптичне волокно (ОВ) має ряд принципових відмінностей від електричної мідної жили. Оптичне волокно є значно чутливішим до механічних дій середовищем розповсюдження сигналу, чим мідна жила. Саме цей факт є вирішальним при прогнозуванні довгострокової надійності ОК.

По величині механічної міцності кварцеве скло, з якого виготовляються волокна для оптичного зв'язку, порівнянню із сталлю. Це природна властивість кварцевих волокон, але із-за недосконалості технології виробництва і умов експлуатації на практиці волокно є крихким і чутливим до механічних дій, таким, наприклад, як розтягування або кручення.

Міцність оптичного волокна визначається в основному наявністю поверхневих тріщин, які доволіно розташовуються уздовж всієї його довжини. Величина міцності залежить від довжини зразка ОВ, швидкості додатку навантаження і умов навколишнього середовища. Якщо до волокна не прикладати навантажень, то його механічні і оптичні властивості залишаються незмінними, навіть якщо на волокно впливають волога, вода, кислоти великої концентрації або інші хімічні речовини. Якщо до волокна прикладати механічну напругу, то тріщини на його поверхні можуть збільшуватися. Таким чином, у волокнах, які піддаються розтягуючій нарузі, крученню або перегинам, має місце статична втома, що з часом приводить до погіршення їх прочностних характеристик або обриву. Особливо швидко процес утворення тріщин і руйнування ОВ відбувається у присутності гідроксильних груп (ОН-), тому при проектуванні захисту ОВ від вологи приділяється велика увага.

Кожен виробник ОВ (компанії Corning Cable Systems, Fujikura і ін.) проводить наступний proof-test: ОВ протягом 1 з піддається розтягуючим зусиллям, що приводять до його подовження на 1%, якщо не відбувається обрив волокна, то воно визнається придатним. Грунтуючись на теорії руйнування крихких тіл, можна сказати, що якщо до ОВ, яке пройшло proof-test, будуть прикладені в 3 рази менші по величині навантаження (подовження на 0,33 %), то термін служби такого волокна складає 25 років. Таким чином, по подовженню можна судити про термін служби і, отже, про надійність. Проте, як показує практика, неприпустиме подовження ОВ (0,33 %) при додатку розтягуючого навантаження до ОК настає раніше, ніж з'являється приріст загасання в ОВ, і раніше, ніж починає руйнуватися конструкція кабелю.

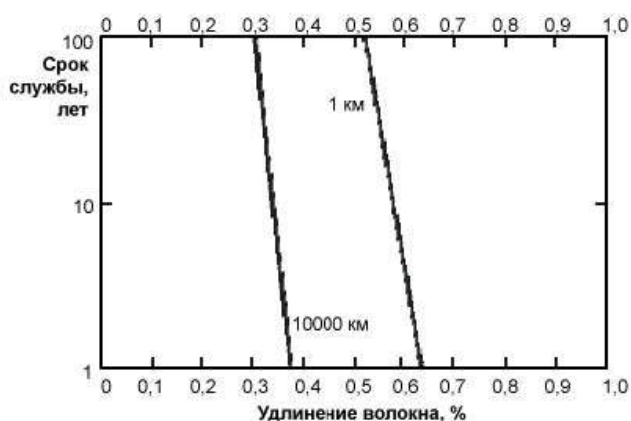


Рис. 1 – Залежність терміну служби кабелю від подовження волокна (за даними фірми Fujikura, Японія)

Характер залежності терміну служби волокна від його натягнення проілюстрований на рис. 1, де натягнення виражене в одиницях подовжнього подовження. Ліва крива відповідає довжині волокна 10000 км., а права – 1 км., так що між ними розташовуються практично всі можливі довжини волокон в ліній зв'язку. Можна виділити три діапазони напруги: безпечні – до 0,3 %, неприпустимі – більше 0,6 % і проміжні, такі, що вимагають додаткового аналізу. Хоча в приведених оцінках не враховувалися ряд чинників, таких як мікропошкодження волокна або вплив вологи, з графіка видно, що незначне збільшення

натягнення волокна може приводити до багатократного зменшення його терміну служби. Виходячи з цього, для прогнозування довгострокової надійності ОК при його проектуванні і виробництві потрібно з великою точністю (0,01 %) вимірювати величину подовження волокна при додатку розтягуючого зусилля до ОК. Розглянемо методи, за допомогою яких можна проводити таке вимірювання.

Простий метод визначення допустимого навантаження для кабелю зводиться до наступного: кабель розтягують за допомогою силової установки і при цьому постійно фіксують приріст загасання в ОВ. Відповідна експериментальна залежність представлена на рис. 2. По рівню загасання ухвалюють рішення про те, яке навантаження може витримати дана конструкція кабелю. Для стандартного одномодового волокна значення загасання приймається рівним 0,22 дБ/км. У приведеному прикладі (рис. 2), виходячи з даної методики оцінки кабелю, допустиме навантаження рівне 4,2 кН.

При використанні цієї методики можна піти від зворотного: розтягнути ОК із зусиллям, на яке він розрахований (допустимо, 8 кН), і за допомогою простих тестерів визначити загасання в ОВ. Якщо загасання знаходиться в межах норми, то кабель вважається придатним. Перевагами методики є простота у використанні і низька вартість устаткування. Проте тут неможливо отримати інформацію про подовження ОВ, а отже, зробити довгостроковий прогноз надійності ОК.

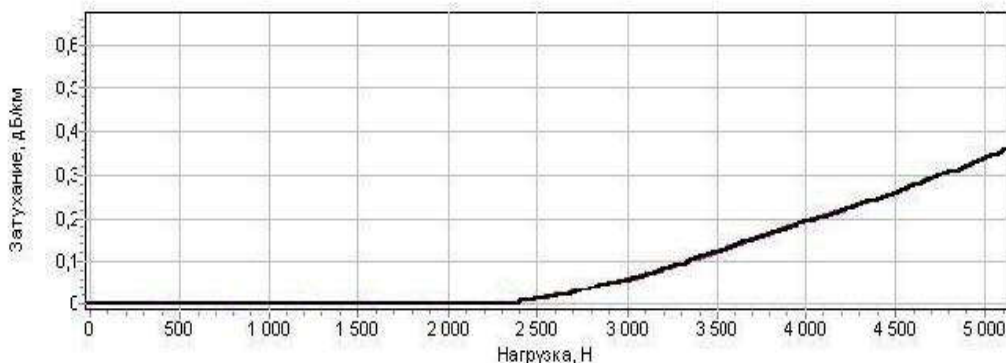


Рис. 2 – Експериментальна залежність визначення допустимого навантаження

Для методів рефлектометрії, похибка оцінювання складає загалом менше ніж 1%. Інша похибка – це похибка з'єднання. З тих пір, як рефлектометр повинен бути сполучений з широкою різноманітністю кабелів, ні загалом так легко, щоб відповідати імпеданс reflectometer, output з дротом. Це означає, що завжди буде відображення між вимірювальним правлінням і дротяний, будучи перевіреним. Фізичне під'єднування до дроту не завжди ідентичне, і ця різниця надає помилку близько 30 см з довгим дротом 10 метрів.

Принциповим джерелом похибок в методах рефлектометрії є так звана "Мертва точка" для дротів, які дуже короткі. Це викликає відбитий сигнал, що частково покриває випадковий сигнал, тому що затримка часу між виробництвом короткого пульсу і вимірюванням відображень такий маленький.

### Висновок

Для вирішення проблеми визначення надійності оптичного кабелю одним з можливих шляхів розв'язку є застосування спекл-структур. Спекл-структури (від англ. Speckle - точка, цятка) є результатом інтерференції хвиль від окремих неоднорідностей середовища, в якій поширюється лазерне випромінювання. Дані спекл-картини знижують якість зображення, але разом з тим вони можуть служити носієм корисної вимірювальної інформації. Це створює передумови для їх широкого застосування у вирішенні науково-технічних завдань в області високоточних досліджень і при контролі вібрації і деформації оптичного кабелю.

### Література

1. Ларин Ю.Т. Оптические кабели. – М.: Пре-стиж, 2006
2. Wagner R F., Statistics of speckle in ultrasound B-scans / S W. Smith, J M. Sandrik, H. Lopez // IEEE transactions on ultrasonics. – 1983. – vol.30. – № 3. – P.156– 163.
3. Horiashchenko Kostyantyn. Using complexity of phase method for determining distances to the damages in wiring lines. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2015. Issue 1. Pp. 118-121
4. Землянський О.Є. Порівняння застосування технологій OFDR та OTDR для побудови оптичних розподілених сенсорів / О.Є. Землянський, К.Л. Горященко // матеріали МНТЖ "ВОТТП-2017". - 8 – 13 червня 2017 р.- С.57

### References

1. Larin Ju.T. Opticheskie kabeli. – M.: Pre-stizh, 2006
2. Wagner R F., Statistics of speckle in ultrasound B-scans / S W. Smith, J M. Sandrik, H. Lopez // IEEE transactions on ultrasonics. – 1983. – vol.30. – № 3. – R.156– 163.
3. Horiashchenko Kostyantyn. Using complexity of phase method for determining distances to the damages in wiring lines. Khmelnytskyi. Measuring and Computing Devices in Technological Processes. 2015. Issue 1. Pp. 118-121
4. Zemljans'kij O.E. Porivnjannja zastosuvannja tehnologij OFDR ta OTDR dlja pobudovi optichnih rozpodiljenih sensoriv / O.E. Zemljans'kij, K.L. Gorjashhenko // materiali MNTZh "VOTTP-2017". - 8 – 13 chervnja 2017 r.- С.57

## THE PLANK'S CONSTANT: LENGTH, MASS, TIME AND THE FINE STRUCTURE CONSTANT COMBINE GRAVITATIONAL AND ELECTROMAGNETIC INTERACTION

The basis of the structure of human knowledge about the surrounding world are: laws, constants and restrictions on the laws. A special role among the constants is played by the so-called fundamental constants. These are the constants that are included in the equations that describe the fundamental laws of nature and the characteristics of matter. In physics, such constants include: the speed of light in vacuum  $c$ , the gravitational constant  $G$ , the Planck's constant  $h$ , the reduced Planck's constant  $\hbar$ , the elementary charge  $e$ , the Boltzmann's constant  $k$ . The fundamental constants have their structure and can be expressed through the so-called universal constants: the constant of the fine structure  $\alpha$  and the Planck constants: length  $l_p$ , mass  $m_p$ , time  $t_p$ . The universal constants give the ability to combine gravitational and electromagnetic interactions: a moving charge is a function of the moment of mass. It also means that all units of measurement of electromagnetic interaction can be represented in units of measurement: length, mass, time.

**Key words:** fundamental and universal constants, gravitational and electromagnetic interactions, units of measurement, moving charge, gravitational-electromagnetic resonance, observable Universe. **Relevance of the problem.** The union of gravitational and electromagnetic interactions. The electromagnetic interaction is a special case of the gravitational interaction. **Goal.** Representation of the formulas of fundamental constants, as well as the main characteristics of the observable Universe through universal constants: the fine structure, the Planck's constants: length, mass, time.

В.Ф. ТІМКОВ

Апарат Ради національної безпеки і оборони України  
С.В. ТІМКОВ, В.О. ЖУКОВ, К.Є. АФАНАСЬЄВ  
Науково-виробниче підприємство «ГЖК», Одеса

### КОНСТАНТИ ПЛАНКА: ДОВЖИНИ, МАСИ, ЧАСУ ТА КОНСТАНТА ТОНКОЇ СТРУКТУРИ ОБ'ЄДНУЮТЬ ГРАВІТАЦІЙНУ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНУ ВЗАЄМОДІЇ

Основа структури знань людини про навколишній світ є: закони, константи та обмеження на закони. Особливу роль серед констант відіграють так звані фундаментальні константи. Це такі константи, які входять до рівнянь, які описують фундаментальні закони природи та характеристики матерії. У фізиці до таких констант належать: швидкість світла у вакуумі  $c$ , гравітаційна постійна  $G$ , константа Планка  $h$ , приведена константа Планка  $\hbar$ , елементарний заряд  $e$ , константа Больцмана  $k$ . Фундаментальні константи мають свою структуру та можуть бути виражені через так звані універсальні константи: константу тонкої структури  $\alpha$  та константи Планка: довжини  $l_p$ , маси  $m_p$ , часу  $t_p$ . Універсальні константи дають змогу об'єднати гравітаційну та електромагнітну взаємодії: рухомий заряд – це функція моменту маси. Це також значить, що всі одиниці виміру електромагнітної взаємодії можуть бути представлені в одиницях виміру: довжини, маси, часу.

**Ключові слова:** фундаментальні та універсальні константи, гравітаційна та електромагнітна взаємодії, одиниці виміру, рухомий заряд, гравітаційно-електромагнітний резонанс, спостережуваний Всесвіт.

**Актуальність проблеми.** Об'єднання гравітаційної та електромагнітної взаємодії. Електромагнітна взаємодія є складова гравітаційної взаємодії.

**Мета.** Представлення формульних виразів фундаментальних констант, а також основних характеристик спостережуваного Всесвіту через універсальні константи: тонкої структури, константи Планка: довжини, маси, часу.

It's known that main fundamental physical constants, for example the gravitational constant  $G$ , the reduced

Planck constant  $\hbar$ , the speed of light in vacuum  $c$ , can be determined with Planck constants: the Planck length  $l_p$ , the Planck mass  $m_p$ , the Planck time  $t_p$  :

$$G = \frac{l_p^3}{m_p t_p^2}; \hbar = \frac{m_p l_p^2}{t_p}; c = \frac{l_p}{t_p}. \quad (1)$$

Using the "Planck universal proportions" [1], the Planck constants values [2]:

$$l_p = 1.616229(38) \cdot 10^{-35} m; t_p = 5.39116(13) \cdot 10^{-44} s; m_p = 2.176470(51) \cdot 10^{-8} kg; \quad (2)$$

and the Hubble constant [3]:

$$H_0 = 66.93 \pm 0.62 (km / s) / Mpc, \quad (3)$$

it's possible to evaluate the main spatial characteristics of the observable Universe [4]:

mass  $M_U$ , radius  $R_U$ , rotation period  $T_U$  [5], which is equal to the light signal propagation delay at a distance equal  $R_U$ :

$$T_U = t_p \frac{M_U}{m_p} = t_p \frac{R_U}{l_p} = \frac{1}{H_0} = 4.431534683326 \cdot 10^{17} s, \quad (4)$$

$$M_U = m_p \frac{T_U}{t_p} = m_p \frac{R_U}{l_p} = \frac{c^3 T_U}{G} = 1.789337036792 \cdot 10^{53} kg, \quad (5)$$

$$R_U = l_p \frac{M_U}{m_p} = l_p \frac{T_U}{t_p} = c T_U = 1.328540675427 \cdot 10^{26} m. \quad (6)$$

As well, in accordance with the law "Planck universal proportions" – for every celestial body of the observable

Universe (including the observable Universe), mass which is  $m$ , the curvature of space radius is  $S$ , which created

by gravitational field mass which is  $m$ , with the light signal propagation delay is  $t_{dm}$  at distance equal to  $S$ ,

the gravitational constant  $G$ , and Planck force  $F_p$ , true:

$$G = \frac{l_p^3}{m_p t_p^2} = \frac{R_U^3}{M_U R_U^2} = \frac{S^3}{m t_{dm}^2} = 6.673045869 \cdot 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2}, \quad (7)$$

$$F_p = m_p \frac{l_p}{t_p^2} = M_U \frac{R_U}{T_U^2} = m \frac{S}{t_{dm}^2} = 1.21048301950 \cdot 10^{44} kg^1 m^1 s^{-2}. \quad (8)$$

Energy of body  $E$  which mass  $m$ , a and also the observable Universe energy  $E_U$  are:

$$E = mc^2 = h_e t_{dm} = F_p S; E_U = M_U c^2 = h_e T_U = F_p R_U, \quad (9)$$

where:  $h_e = \frac{E_p}{t_p}$  – is the quantum of the Planck energy, where  $E_p$  – the Planck energy:  $E_p = m_p c^2$ .

It is evident:

$$h_e = \frac{E_p}{t_p} = \frac{m_p c^2}{t_p} = \frac{m_p l_p^2}{t_p^3} = 3.628372528 \cdot 10^{52} J^1 s^{-1}. \quad (10)$$

It's known [6], that charge is function of the moment of the mass. Then for the elementary charge  $e$  is true:

$$e = \sqrt{10^7 \alpha m_p l_p} \left[ kg^{\frac{1}{2}} m^{\frac{1}{2}} \right], \quad (11)$$

where  $\alpha$  – is the fine-structure constant, it's value is [2]:

$$\alpha = 7.2973525664(17) \cdot 10^{-3}. \quad (12)$$

From formula (11), considering [6]:

$$c^2 = \frac{10^7}{4\pi\epsilon_0}, \quad (13)$$

$$a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0\hbar^2}{m_e e^2} = \frac{4\pi\epsilon_0 m_p^2 l_p^4}{10^7 \alpha m_e m_p l_p t_p^2} = \frac{m_p l_p}{\alpha m_e}, \quad (14)$$

where:  $a_0$  – the Bohr Radius,  $m_e$  – the electron mass,  $\epsilon_0$  – electric constant, it follows:

$$a_0 \alpha m_e = m_p l_p; \alpha = \frac{m_p l_p}{a_0 m_e}; m_p = \frac{a_0 \alpha m_e}{l_p}; l_p = \frac{a_0 \alpha m_e}{m_p}; m_e = \frac{m_p l_p}{a_0 \alpha}. \quad (15)$$

Considering the formula (11) the Coulomb's law for two elementary charges in gravitational form is:

$$F = k_e \frac{e^2}{r_{12}^2} = G \alpha \frac{m_p^2}{r_{12}^2}. \quad (16)$$

In the formula (16)  $k_e$  – is the proportionality factor (Coulomb's constant, or the electric force constant),

$r_{12}$  – is a distance between two elementary charges.

From formulas (11 – 16) it follows then that measurement units of electromagnetic interaction on the basis of constants  $l_p, m_p, t_p, \alpha$  can be expressed with units of length, of mass and of time [6].

For instance:

$$\text{Coulomb: } [C] = k_C \left[ kg^{\frac{1}{2}} \cdot m^{\frac{1}{2}} \right], \quad (17)$$

$$\text{Ampere: } [A] = k_A \left[ kg^{\frac{1}{2}} \cdot m^{\frac{1}{2}} \cdot s^{-1} \right], \quad (18)$$

$$\text{Volt: } [V] = k_V \left[ kg^{\frac{1}{2}} \cdot m^{\frac{3}{2}} \cdot s^{-2} \right], \quad (19)$$

$$\text{impedance: } [\Omega] = k_\Omega \left[ m^1 \cdot s^{-1} \right], \quad (20)$$

$$\text{electric capacitance: } [F] = k_F \left[ m^{-1} \cdot s^2 \right], \quad (21)$$

$$\text{inductance: } [H] = k_H \left[ m^1 \right], \quad (22)$$

$$\text{magnetic induction: } [Tl] = k_{Tl} \left[ kg^{\frac{1}{2}} \cdot m^{-\frac{1}{2}} \cdot s^{-1} \right], \quad (23)$$

where:  $k_C, k_A, k_V, k_\Omega, k_F, k_H, k_{Tl}$  – are dimensionless coefficients of proportionality between units of measurements. Given that units of electromagnetic interaction basis is a moving charge that is the function of moment of the mass, then electromagnetic interaction is particular case of gravitational interaction that also is confirmed by formulas (17 – 23).

Therefore in certain conditions exists gravitational-electromagnetic resonance [1,7,8]. The parameters of such resonance are defined by constants:  $l_p, m_p, t_p, \alpha$ .

**Conclusions:** the moving charge as a function of the moment of mass and the experimentally confirmed presence of gravitational-electromagnetic resonance combine gravitational and electromagnetic interactions.

#### Література

[1] Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Planck universal proportions. Gravitational - electromagnetic resonance, „Міжнародний науково-технічний журнал: Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, ISSN 2219-9365, 3 (52), стор. 7 – 11, 2015.

[http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf\\_full/vottp-2015-3.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-3.pdf)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01329094v1>

[2] [https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?plkt/search\\_for=universal\\_in!](https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?plkt/search_for=universal_in!)

[3] Aghanim N., Ashdown M., Aumont J., et al: Planck Collaboration: Planck intermediate results. XLVI. Reduction of large-scale systematic effects in HFI polarization maps and estimation of the reionization optical depth.

<https://arxiv.org/pdf/1605.02985.pdf>

[4] Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Evaluation of the main spatial characteristics of the observable Universe based on the law “Planck Universal Proportions”, Міжнародний науково-технічний журнал: Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, ISSN 2219-9365, 1 (54), стор. 144 – 147 , 2016.

[http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf\\_full/2016/vottp-2016-1.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/2016/vottp-2016-1.pdf)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01330333v3>

[5] Timkov, V. F., Timkov, S. V.,: Rotating space of the Universe, as the source of dark energy and dark matter., Міжнародний науково-технічний журнал: Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, ISSN 2219-9365, 3 (52), стор. 200 – 204, 2015.

[http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf\\_full/vottp-2015-3.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-3.pdf)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01329145v1>

[6] Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Electric charge as a function of the moment of mass. Gravitational form of Coulomb’s law., Міжнародний науково-технічний журнал: Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, ISSN 2219-9365, 3 (56), стор. 27 – 32, 2016.

[http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf\\_full/2016/vottp-2016-3.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/2016/vottp-2016-3.pdf)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01374611v1>

[7] Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Gravitational-electromagnetic resonance of the Sun as one of the possible sources of auroral radio emission of the planets in the kilometer range., Міжнародний науково-технічний журнал: Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, ISSN 2219-9365, 4 (53), стор. 23 – 32, 2015.

[http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf\\_full/vottp-2015-4.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-4.pdf)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01232287v1>

[8] Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Gravitational-electromagnetic resonance of the Sun in the low-frequency of the radio spectrum of the Jupiter., Міжнародний науково-технічний журнал: Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, ISSN 2219-9365, 2 (55), стор. 198 – 203, 2016.

[http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf\\_full/2016/vottp-2016-2.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/2016/vottp-2016-2.pdf)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01326265v1>

## References

[1] Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Planck universal proportions. Gravitational - electromagnetic resonance., International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 3 (52), p.p. 7 – 11, 2015.

[http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf\\_full/vottp-2015-3.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-3.pdf)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01329094v1>

[2] [https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value/plkt?search\\_for=universal\\_in!](https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value/plkt?search_for=universal_in!)

[3] Aghanim N., Ashdown M., Aumont J., et al: Planck Collaboration: Planck intermediate results. XLVI. Reduction of large-scale systematic effects in HFI polarization maps and estimation of the reionization optical depth.

<https://arxiv.org/pdf/1605.02985.pdf>

[4] Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Evaluation of the main spatial characteristics of the observable Universe based on the law “Planck Universal Proportions”, International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 1 (54), стор. 144 – 147 , 2016.

[http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf\\_full/2016/vottp-2016-1.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/2016/vottp-2016-1.pdf)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01330333v3>

[5] Timkov, V. F., Timkov, S. V.,: Rotating space of the Universe, as the source of dark energy and dark matter., International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 3 (52), p.p. 200 – 204, 2015.

[http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf\\_full/vottp-2015-3.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-3.pdf)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01329145v1>

[6] Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Electric charge as a function of the moment of mass. Gravitational form of Coulomb’s law., International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 3 (56), pp.27 – 32, 2016.

[http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf\\_full/2016/vottp-2016-3.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/2016/vottp-2016-3.pdf)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01374611v1>

[7] Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Gravitational-electromagnetic resonance of the Sun as one of the possible sources of auroral radio emission of the planets in the kilometer range., International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 4 (53), p.p. 23 – 32, 2015.

[http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf\\_full/vottp-2015-4.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/vottp-2015-4.pdf)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01232287v1>

[8] Timkov, V. F., Timkov, S. V., Zhukov, V. A.,: Gravitational-electromagnetic resonance of the Sun in the low-frequency of the radio spectrum of the Jupiter., International scientific-technical magazine: Measuring and computing devices in technological processes, ISSN 2219-9365, 2 (55), p.p. 198 – 203, 2016.

[http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf\\_full/2016/vottp-2016-2.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vottp/pdf/pdf_full/2016/vottp-2016-2.pdf)

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01326265v1>

SCIENTIFIC EDITION

# MEASURING AND COMPUTING DEVICES IN TECHNOLOGICAL PROCESSES

XVIII International Scientifically-Technical Conference

*June 8-13, 2018, Odesa, Ukraine*

---

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

# ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Материалы XVIII Международной научно-технической конференции

*8-13 июня, 2018, Одесса, Украина*

---

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

# ВИМІРЮВАЛЬНА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ

Матеріали XVIII Міжнародної науково-технічної конференції

*8-13 червня, 2018, Одеса, Україна*

(українською, російською та англійською мовами)

Відповідальний за випуск: д.т.н., проф. *І.В. Троцишин*

Редактор випуску: д.т.н., проф. *І.В. Троцишин*

Технічний редактор: к.т.н., доц. *К.Л. Горященко*

Художнє оформлення обкладинки: к.т.н., доц. *К.Л. Горященко*

**<http://fetronics.ho.com.ua/ntk>**

---

Підписано до друку 25.05.2018 р.

Формат 30x42/4. Папір офс. Гарн. Times New Roman  
Друк різнографією. Ум.друк.арк. 25,67 Обл.-вид.арк. 26,22  
Тираж 110. Зам. № 6772

---

Надруковано в типографії «ВМВ»

(Свідоцтво про видавничу діяльність ДК № 4612 від 05.09.2013)  
Україна, 65069, Одеса, пр-т. Добровольського, 82а  
тел. (048) 751-14-87; тел./факс 751-15-80, [www.vmv.odessa.ua](http://www.vmv.odessa.ua)