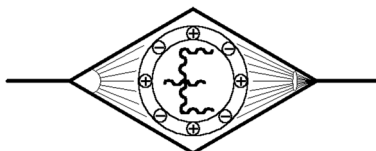


Вінницький національний технічний університет

Міністерство освіти і науки України
Академія інженерних наук України
Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України
Ужгородський національний університет
Грузинський технічний університет
Люблінський технічний університет
Міжнародні товариства оптичної техніки SPIE, OSA



Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Заснований у 2001 році
Виходить 2 рази на рік

№2 (26), 2013

Передплатний індекс 91673

Зареєстрований Державним комітетом інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України. Свідоцтво про реєстрацію – КВ № 15295–3867Р від 22.06.2009 р.

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ВНТУ, протокол № 5 від 12 грудня 2013р.

Міжнародний науково-технічний журнал “Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології” є науковим виданням, публікації в якому визнаються при захисті дисертаційних робіт з технічних наук (постанова Президії ВАК України №1-05/6 від 12 червня 2002 року) (повторна реєстрація, постанова Президії ВАК України №1-05/1 від 10 лютого 2010 р)
© Вінницький національний технічний університет, оформлення, верстка, 2013

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:
Україна, 21021, м. Вінниця,
вул. Хмельницьке шосе, 95.

Тел.: +38 (0432) 59-80-19, 59-84-92, 59-84-50
Факс: +38 (0432) 46-57-72
<http://www.oeipt.vntu.edu.ua>
E-mail: oeipt@ukr.net

**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

ГОЛОВНИЙ РЕДАКТОР:

Кожем'яко В.П. Вінницький національний технічний університет, Україна

ЗАСТУПНИКИ ГОЛОВНОГО РЕДАКТОРА:

Готра З.Ю. Національний університет "Львівська політехніка", Україна

Натрошвілі О.Г. Грузинський технічний університет, Тбілісі, Грузія

Осадчук В.С. Вінницький національний технічний університет, Україна

Власюк А.І. Вінницький національний технічний університет, Україна

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Азаров О. Д.
Вінницький національний технічний університет
Алієв Алекпер Алі Ага огли
Бакинський державний університет, Азербайджан
Бобицький Я.В.
Національний університет "Львівська політехніка"
Брілль Г.Є.
Саратовський державний медичний університет, Росія
Бунь Р.А.
Національний університет "Львівська політехніка"
Вассіленко В.Б.
Новий університет Лісабону, Лісабон, Португалія
Вінцюк Т.К.
Міжнародний науково-навчальний центр ЮНЕСКО
інформаційних технологій та систе, м. Київ
Володарський Є. Т.
Національний університет України "КПІ", Київ
Вуйцік В.
Люблінський Технічний Університет, Польща
Грабко В.В.
Вінницький національний технічний університет
Граур А.
Університет "Stefan cel Mare", Сучава, Румунія
Грицик В.В.
Державний науково-дослідний інститут
інформаційної інфраструктури, Львів
Дубовой В.М.
Вінницький національний технічний університет
Жерардо Іоване
Університет Салерно, Італія
Захос Е.
Національний технічний університет, Афіни, Греція
Злепко С.М.
Вінницький національний технічний університет
Канторіно Майк
Науково-дослідна лабораторія Naval Air Systems Command, США
Кветний Р.Н.
Вінницький національний технічний університет
Коваленко В.С.
НДІ лазерної техніки та технологій Національний технічний
університет України "КПІ",
Коробов А.М.
Президент корпорації „Лазер і здоров'я”, Харків
Кичак В.М.
Вінницький національний технічний університет
Кузьмін І.В.
Вінницький національний технічний університет
Кульчин Ю.М.
Далекосхідний державний технічний університет,
Владивосток, Росія
Кутасв Ю.Ф.
НВО "Астрофізика", Москва, Росія
Лежнюк П.Д.
Вінницький національний технічний університет
Лепіх Я.І.
Одеський національний університет ім. Мечникова

Лужецький В.А.
Вінницький національний технічний університет
Мартинюк Т.Б.
Вінницький національний технічний університет
Медиковський М.О.
Національний університет "Львівська політехніка"
Мокін Б.І.
Вінницький національний технічний університет
Мокін В.Б.
Вінницький національний технічний університет
Мороз В.М.
Вінницький національний медичний університет
Муравський Л.І.
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України
Николайчук Я.М.
Тернопільська академія народного господарства,
Олексенко П.Ф.
Інститут фізики напівпровідників НАН України, Київ
Осадчук О.В.
Вінницький національний технічний університет
Осінський В.І.
Державне підприємство Науково-дослідний інститут
Мікроприладів, Київ
Павлов С.В.
Вінницький національний технічний університет
Петрук В.Г.
Вінницький національний технічний університет
Прангішвілі Арчіл Іверієвич
Грузинський державний технічний університет, Тбілісі
Перейра Хосе Мігель
Політехнічний інститут Сетубалу, Португалія
Рассохін І.Т.
НПЦ ОЕП «ОПТЕЛ», Москва, Росія
Романюк О.Н.
Вінницький національний технічний університет
Русин Б.П.
Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України,
Салдан Й.Р.
Вінницький національний медичний університет
Саченко А.О.
Тернопільська академія народного господарства
Свєчніков С.В.
Інститут фізики напівпровідників НАН України, Київ
Сидоров О.С.
Міжнародна Академія інформатизації при ООН
Студеняк І.П.
Ужгородський національний університет
Столярчук П. Г.
Національний університет України "Львівський
політехнічний університет"
Тимчик Г.С.
Національний технічний університет України "КПІ"
Тимченко Л.І.
Київський університет економіки і технологій транспорту
Шевчук В.І.
Український державний науково-дослідний інститут
медико-соціальних проблем інвалідності, Вінниця

ВІДПОВІДАЛЬНІ СЕКРЕТАРІ:

Лисенко Г.Л. Вінницький національний технічний університет, Україна
Маліновський В.І. Вінницький національний технічний університет, Україна
Костюкевич С.О. Інститут фізики напівпровідників НАНУ, Київ, Україна
Кожем'яко А.В. Вінницький національний технічний університет, Україна

ТЕХНІЧНІ СЕКРЕТАРІ:

Маліновський В.І., Кожем'яко А.В.,
Яровий А.А., Штельмах О. О.
РЕДАКТОРИ-КОРЕКТОРИ:
Правділяний М.Г., Веремієнко С.Я.

**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ
ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

ЗМІСТ

Кожем'яко В.П., Павлов С.В., Маліновський В.І., Штельмах С.О. СКТБ – Квантрон – 25 років ідеям майбутнього.....	5
---	---

**МЕТОДИ ТА СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ І ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ
ЗОБРАЖЕНЬ ТА СИГНАЛІВ**

Павлов С.В., Поплавский А.А., Поплавская А.А., Бабюк Н.П. Метод автоматического определения сегментационного порога для повышения качества прогнозирования параметров изображений.....	8
Антонов А.В., Коваль К.О., Іваненко І.І., Барчук В.А. Мікроконтролерна система регулювання яскравості ламп розжарювання.....	13

**СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА
РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ**

Яровий А.А., Тимченко Л.І., Мудрик В.В., Матейчук М.С., Морфіянець О.О. Прикладні аспекти застосування інтелектуальних технологій в системах підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку.....	18
Мартинюк Т.Б., Кожем'яко А.В., Мельник А.В. Особливості паралельно-позрізового оброблення елементів матриць для класифікації об'єктів.....	28

**ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ
ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ**

Готра З.Ю., Возняк Л.Ю., Вісьтак М.В. Світловопромінюючі діоди синього кольору на основі нанорозмірних шарів фталоціаніну нікелю.....	34
А.В. Клепиковський, В.Р. Любчик Оцінка вібронестійкості елементів радіоелектронної апаратури за допомогою методу електродинамічних аналогій.....	38
Г. Л. Лысенко, С. Е. Тужанский, М. Альравашдех Фотонные логические элементы на основе фазово-синхронизированных массивов CC-VCSEL.....	42

БІОМЕДИЧНІ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА ПРИЛАДИ

Стенцель Й.І., Павлов С.В., Рябіченко А.В., Літвінов К.А. Фізичне та математичне моделювання ультразвукових методів діагностики стану здоров'я людини.....	48
Заболотна Н.І., Радченко К.О., Костюк С.В. Статистична, кореляційна і фрактальна структура Мюллер–матричних зображень багат шарових біологічних тканин.....	58
Павлов С. В., Сандер С. В., Козловська Т. І. Оцінювання розходження між емпіричним та теоретичним розподілами кровонаповнення нижніх кінцівок за допомогою критерію Пірсона.....	67
Халімовський О.М., Чегель В.І., Литвин В.К., Лопатинський А.М. Розробка системи пошуку максимуму інтенсивності флюоресцентного сигналу при тестуванні структур біологічних матеріалів.....	72

**ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ ТА КОМПОНЕНТИ В ЛАЗЕРНИХ І
ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ**

Dinh Thanh Viet, Tran Phuong Nam, La Van Ut Analysis of profit of generation company in power market.....	75
Щур І.З., Білецький Ю.О. Поліфункціональне енергоформуюче керування роботою вітроелектроустановки.....	79
Сулейманов В.М., Баженов В.А., Кападзе Т.Л. Підвищення розрахункової надійності моделювання усталених режимів електроенергетичних систем.....	83

Гриб О.Г., Гапон Д.А., Зуєв А.О., Жданов Р.В.	
Проблеми якості електричної енергії живлячої мережі при підключенні пристрою з активним перетворювачем.....	87
Коменда Н.В.	
Комплексна морфометрична модель управління навантаженням систем електропостачання.....	90

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ (INTERNET, INTRANET ТОЩО) ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Кожем'яко В.П., Маліновський В.І., Ярославський Я.І.	
Застосування технологій фотоелектричних перетворювачів в моделі інформаційних мереж із розподіленими джерелами енергії	96
Бевз О.М., Деревенько К.В.	
Оптоэлектронная система передачи данных с быстрым декодированием и высокой криптографической стойкостью.....	109
Коновал В.С., Мороз В.І.	
Модельовання динаміки електроенергетичних систем із застосуванням методу відображення нулів/полісів.....	115
Шулє Ю. А., Девятко М. В.	
Геоінформаційні системи як інструмент реалізації концепції SMART GRID та шлях до ефективного енергозбереження.....	119
Пересада С. М., Диннік Т.В.	
Адаптивний спостерігач параметрів мережі живлення.....	122
Саблін О.І., Кузнецов В.Г., Артемчук В.В.	
Проблеми та перспективи ефективного використання рекуперації електроенергії в системі електротранспорту.....	126
Готра О.З., Фечан А.В., Баріло Г.І., Бойко О. В., Вісьтак М. В., Сушинський О. Є., Чабан О. В., Пристай Т. В.	
Полімер-диспергований рідкокристалічний матеріал як активне середовище первинного перетворювача оптичного сенсора температури.....	131

ВИДАТНІ ВЧЕНІ СУЧАСНОСТІ ЗА НАПРЯМКОМ “ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ”

До 90-річчя І.В.Кузьміна.....	136
-------------------------------	-----

В.П. КОЖЕМ'ЯКО, С.В. ПАВЛОВ, В.І. МАЛІНОВСЬКИЙ, О.О. ШТЕЛЬМАХ

СКТБ «КВАНТРОН» – 25 РОКІВ ІДЕЯМ МАЙБУТНЬОГО

*Вінницький національний технічний університет,
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна*

Анотація. В статті проведено історичний огляд формування концепції оптикоелектронного квантового комп'ютера на базі СКТБ «Квантрон», сучасний стан розвитку квантових комп'ютерів та розробки перших у вітчизняній науці квантронів.

Ключові слова: квантрон, квантування часу, квантовий комп'ютер

Револьюційні ідеї наукової школи Майорова С. А., які були викладені в історичній статті «Исследование некоторых электрических характеристик квантрона как базисного элемента узлов вычислительной техники» [1], стали основою концепції оптикоелектронних вузлів обчислювальної техніки – квантронів [2,3]. Принцип квантування часу світловим променем був сформований на початку 70х років 20 ст. його учнем Кожемяко В.П.

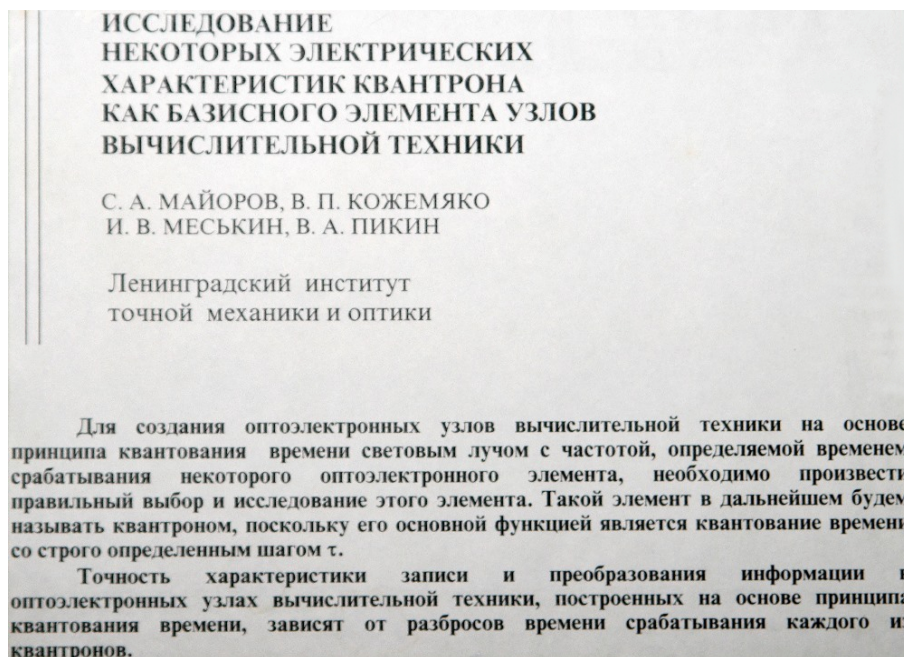


Рис. 1. Перша згадка в науковій літературі про «квантрон», як базовий елемент вузлів обчислювальної техніки

Згідно наказу МІНВУЗу УРСР №Р68с від 10.11.87 почався шлях створення СКТБ «Квантрон», а вже через рік у 1988 році, функціонувало потужне підприємство, яке включало 6 потужних відділів, а в кращі роки склад співробітників становив до 150 чоловік із бюджетом до 5 млн. рублів СРСР.

Ідея створення оптикоелектронного квантового комп'ютера ставала дедалі актуальнішою, а оптикоелектроніка дійсно заявила про себе як наука майбутнього. Керівником новоствореної організації був призначений Кожемяко В.П., виконуючий обов'язків директора – Тимченко Л.І., головним інженером – Гайда В.Б., головним технологом – Подорожнюк В.А.

Постійно працюючи над ідеєю квантрона, було створено ряд принципово нових пристроїв для обробки сигналів та зображень: «Квант-1», «Квант-2», «Квант-3», «Квант-4», «Квант-5», «Квант-6», «Квант-7», «Квант-8», а протягом 1977-1990 наукова група очолювана Кожемяко В.П. була нагороджена однією золотою, п'ятьма срібними та сімома бронзовими медалями на виставках ВДНГ СРСР.

Реалізовані проекти приносили десятки мільйонів карбованців від економічного впровадження.

Створений у 1983 р. оптикоелектронний пристрій вводу-виводу з оперативною обробкою інформації «Квант-5» призначався для оптичної та електронної обробки інформації, вводу-виводу цифро-буквенної та графічної інформації, додавання, віднімання та множення десяткових чисел, аналого-цифрового та цифро-аналогового перетворення з сенсорним керуванням. Це дозволяло побудувати індикаторні шкали масового використання, аналого-цифрові та цифро-аналогові прилади, інтелектуальні дисплеї, екрани індивідуального і масового використання на основі єдиного інтегрального елемента індикації.

Таблиця 1.

Технічні характеристики пристрою «Квант-5»

Кількість розрядів	4
Введення інформації	Сенсорний, паралельно-последовний
Швидкість виконання операцій додавання-віднімання	30 мкс
Швидкість виконання операцій множення	100 мкс
Швидкість перетворення	1 мкс

Для обробки інформації використовувався новий функціональний елемент – квантрон, який базувався на принципі квантування часу світловим променем, несучим в своїй тривалості інформацію.

Експонат був захищений 21 авторським свідоцтвом та трьома позитивними рішеннями на винахід, а економічний ефект від впровадження склав 1 500 000 рублів СРСР.

Авторами експонату були Кожем'яко В. П., Грабчак А. В., Подорожнюк В. А., Тимченко Л. І., Кірше А. Б., Мартинюк Т. Б., Ходяков Є. А., Качуровський В. Є., Стратієнко В. С., Красиленко В. Г., Дорощенко Г. Д., Лисенко Г. Л., Юдін С. Б., Белан С. Н., Кожемяко К. В., Перов Г. Е.

На основі наукової групи при кафедрі обчислювальної техніки під керівництвом д.т.н. Кожемяко В. П., до якої входили Мартинюк Т. Б., Ковальчук Б. М., Філіпович О. Б., Сторожук Ю. Ю., Стратієнко В. С., Демянчук Т. Г., Гунченко О. та інші., були реалізовані ідеї перших оптикоелектронних квантових комп'ютерів та принципів їх створення на основі квантронної схемотехніки.

Історія створення кафедри пов'язана із функціонуванням потужного СКТБ «Квантрон» (1986-1995 роки), на якому і був сформований основний склад майбутньої кафедри ЛОТ. До першого складу кафедри ввійшли Кожем'яко В. П., Мартинюк Т. Б., Головань Т. В., Калімулін І. Ф., Лисенко Г. Л., Полторак Г. М., Тимченко Л. І., Павлов С. В., Заболотна Н. І., Колесницький О. К., Івасюк І. Д., Ліщинська Л. Б., Поплавський А. В., Марков С. М., Скорюкова Я. Г., Чепорнюк С. В., Васильківа Т. Г. та Ходяков Є. О., які створили основне навчально-методичне забезпечення кафедри.

Першими навчальними посібниками з грифом Міністерства освіти були «Оптоэлектронная схемотехника» (Київ, УМК ВО, 1988) авторів Кожем'яко В. П., Натрошвілі О. Г., Мартинюк Т. Б.; «Вступ в алгоритмічну теорію ієрархії і паралелізму нейроподібних обчислювальних середовищ та її застосування до перетворення зображень. Частина 2. Основи теорії пірамідально-сітьового перетворення зображень» (Київ, 1994) авторів Кожем'яко В. П., Тимченко Л. І., Кутаєв Ю. Ф., Івасюк І. Д.; «Функціональна оптоелектроніка» (Київ, 1991) авторів Кожем'яко В. П., Кутаєв Ю. Ф., Лисенко Г. Л.

Грунтуючись на сучасних досягненнях обчислювальної техніки, інформатики, лазерної і оптико-електронної техніки, В. П. Кожем'яко на базі СКТБ «Квантрон» заснував і розвинув зі своїми учнями новий перспективний науковий напрямок «Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології», що отримав статус наукової школи.

В рамках наукової школи підготовлено 52 кандидати технічних наук та чотирьох докторів технічних наук. Крім того, у творчому доробку завідувача кафедри більше 600 друкованих наукових праць, серед яких 216 авторських свідоцтв, 158 патентів на винаходи, 17 навчальних посібників для студентів вузів (в т.ч. 2 навчальних посібника з грифом Міносвіти України) та 15 монографій, більше 100 статей у наукових періодичних виданнях СРСР, України та в закордонних виданнях.

СКТБ «Квантрон» назавжди залишило слід в українській науці, адже в рамках наукової школи кафедри захищено 6 докторські дисертації (Кожем'яко В. П., Натрошвілі О. Г., Тимченко Л. І., Павлов С. В., Мартинюк Т. Б., Яровий А. А.), а також 51 кандидатських дисертацій (Головань Т. В., Мартинюк Т. Б., Білан С. М., Колісницький О. К., Кармановський С. І., Скорюкова Я. Г., Дубчак В. М., Савалюк І. М., Ліщинська Л. Б., Дорощенко Г. Д., Кожем'яко А. В., Буда А. Г., Семенець О. М., Кутаєв Ю. Ф., Тужанський С. Є., Сачанюк-Кавецька Н. В., Понура О. І., Суприган В. А., Станчук К. І., Яровий А. А., Рейда О. М., Майданюк В. П., Цирульник С. М., іноземні аспіранти Рамі Хамді, Самра Муравія, Талал Аль Кхурі, Мутасім Абу Шабан, Самі Важих, Даду Мотаз, Усама Абу Дайя, Хіллесь Шаді та інші).

Представники наукової школи кафедри протягом 14 років визнавались кращими молодими вченими України за підсумками винахідницької діяльності у ВПІ (ВНТУ), а Тимченко Л. І., Мартинюк Т. Б., Білан С. М., Лисенко Г. Л., Кожем'яко А. В., Яровий А. А. в різні роки стали кращими молодими винахідниками України.

9 чоловік стали Лауреатами Всесоюзного огляду НТТМ, ряд розробок відзначені золотою, 9 срібними, 4 бронзовими медалями ВДНГ СРСР та 5 дипломами ВДНГ України. Досягнення наукової школи демонструвались в 1994–1995 роках на виставках ЮНЕСКО в Румунії де були отримані 2 золотих і 1 срібна медаль. На Всесвітній олімпіаді винахідників “Genius – 2000” Павлов С.В. та Кожем’яко В.П. отримали велику бронзову та малу срібну медаль. Також у 2001 році стали членами Міжнародного товариства оптичної техніки SPIE, а у 2008 році увійшли до складу американського оптичного товариства OSA

Представниками наукової школи отримано 2 премії та 1 грамоту НАН України для молодих учених за кращі наукові роботи в 1995, 1997 роках (к.т.н. Ліщинська Л. Б., к.т.н. Колесницький О. К., к.т.н. Павлов С. В.), 5 представників наукової школи були в 1995-1996 р.р. стипендіатами Кабінету міністрів України серед молодих учених (Павлов С. В., Колесницький О. К., Заболотна Н. І., Білан С. М. та Чепорнюк С. В.). Студенти та аспіранти, неодноразово відзначалися на міжнародних олімпіадах, виставках та конференціях (1997 рік – ст. Гальченко Я. О. призер Європейської олімпіади з програмування). Серед них є Соросовські стипендіати Гальченко Я. О. (1996 р. та 1998 р.), Кожем’яко А. В. (1998 р.), Тимофіїв І. В. (1998 р.), Савалюк І. М. (1998 р.), стипендіати Президента України (Яровий А. А. та Козлова В. І., 2001 р.), студенти Клепо М.В. та Гальченко Я.О. нагороджені в 1997 році грамотами НАН України, у 1998 року студент Тимофіїв І.В. отримав диплом І ступеню МОН України, а студенти Кожем’яко А. В., Гринчук А. В., Мартинович О. В. – дипломи ІІ ступеню, за результатами 2008 р. у всеукраїнському конкурсі молодих вчених Кожем’яко А.В. та Яровий А.А. виграли грант президента України.

Уже сьогодні на квантових принципах реалізуються окремі тригери, регістри та інші логічні елементи, лінійні підсилювачі, аналого-цифрові перетворювачі, СКВІДи і корелятори. Ця ж елементна база використовується для створення петафлопного (10^{15} операцій в секунду) комп’ютера, з частотами від 300 до 700 ГГц [4].

В травні 2013 року, корпорація Google оголосила про відкриття лабораторії по квантовим дослідженням у галузі штучного інтелекту. Лабораторія організована на базі дослідницького центру Еймса американського космічного агентства НАСА в Каліфорнії. Обчислення в рамках проекту будуть проводитися на квантовому комп’ютері канадської компанії D-Wave Systems. Основна мета дослідників сформульована як «вивчення можливостей квантових обчислень для виконання завдань машинного навчання». Передбачається, що в проєкті братимуть участь дослідники з усього світу під керівництвом Університетської асоціації космічних досліджень (USRA) [5]. У 2009 році інженери інтернет-гіганта навчили квантовий комп’ютер канадської компанії, що працює всього на двох кубітах, розпізнавати автомобілі на цифрових фотографіях.

Створення СКТБ «Квантрон» стала знаковою подією для вітчизняної та світової науки, адже оптикоелектронні квантові комп’ютери – це обчислювальна техніка майбутнього.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Исследование некоторых электрических характеристик квантрона как базисного элемента узлов вычислительной техники / С.А. Майоров, В.П. Кожемяко, И.В. Меськин, В.А. Пикин // Вычислительная техника. – Пенза, 1975. – №5. – С.41-47.
2. О логичных элементах на оптоэлектронных модулях / С. А. Майоров, В. П. Кожемяко, И. В. Меськин, О. Г. Натрошвили // «Вычислительная техника». – № 5. – Пенза, 1976.
3. Узлы вычислительной техники на новых базисных оптоэлектронных модулях / С. А. Майоров, В. П. Кожемяко, И. В. Меськин, О. Г. Натрошвили. – «Вычислительная техника». – № 6. – Пенза, 1976.
4. Кожем’яко В.П. Наука і технічна творчість в навчальному процесі (від абітурієнта до аспіранта) Ч 2. Основи сучасної бази знань людства. Навчальний посібник – Вінниця: ВНТУ, 2009. С. 121
5. Launching the Quantum Artificial Intelligence Lab. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://googleresearch.blogspot.ru/2013/05/launching-quantum-artificial.html> - Назва з титул. екрану.

Надійшла до редакції 07.10.2013р.

КОЖЕМ’ЯКО В.П. – д.т.н., професор, академік АІНУ, завідувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ПАВЛОВ С.В. – д.т.н., професор, проректор по науковій роботі, завідувач кафедри загальної фізики та фотоніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

МАЛІНОВСЬКИЙ В.І. – к.т.н., науковий співробітник, ст. викладач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ШТЕЛЬМАХ О.О. – аспірант 3-го курсу кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

УДК 004.92

С. В. ПАВЛОВ, А. А. ПОПЛАВСКИЙ, А. А. ПОПЛАВСКАЯ, Н. П. БАБЮК

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕГМЕНТАЦИОННОГО ПОРОГА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Винницкий национальный технический университет,
21021, Хмельницкое шоссе, 95, Винница, Украина*

Анотація. В даній статті розроблено метод автоматичного визначення порогу сегментації з метою покращення якості прогнозування параметрів зображень в оптично рухомих сценах.

Аннотация. В данной статье разработан метод автоматического определения порога сегментации с целью улучшения качества прогнозирования параметров изображений в оптически подвижных сценах.

Abstract. In this paper, a method for automatically determining the threshold segmentation to improve the quality of projections of images in optically moving scenes.

Ключевые слова: сегментация, центр объекта, порог, контур, контурная область.

ВСТУПЛЕНИЕ

Постоянно растущие требования современных вычислительных сред стимулируют к разработке новых интеллектуальных методов передачи и обработки информации. Жесткие требования систем, обрабатывающих информацию в режиме реального времени, заставляют ученых регулярно создавать и обновлять системы передачи информации. В наше время большинство интернет каналов не способны обеспечить необходимый качественный обмен информацией между такими системами, в свою очередь это приводит к перегрузке этих каналов и создание так называемых цифровых пробок.

Передача информации с помощью лазера может происходить в сотни раз быстрее, что в свою очередь, существенно повлияет на пропускную способность канала передачи. Для передачи информации с помощью лазера необходимо, чтобы спутник и принимающее устройство (ПУ) находились в определенной позиции. Положение линзы ПУ диаметром всего несколько сантиметров должно быть отрегулировано до тысячной доли градуса. Иначе, передача информации просто не произойдет.

В процессе отслеживания спутника принимающим устройством, что происходит на всех этапах работы системы, одной из основных задач является прогнозирование положения изображения пятна лазерного луча, а именно его геометрических характеристик, которые искажаются, под воздействием турбулентности и воздушных масс. В реальных условиях пятна не имеют четко определенных контуров, что значительно усложняет задачу определения их центра. Неспособность стандартных методов определения центра объекта нечеткого изображения заключается в использовании одного контура или одной выборки элементов разложения с одинаковыми весовыми коэффициентами, определенными по заранее определенному пороговому значению [1]. Например, при четком определении порога, не исключено, что точка, находящаяся на грани контура с вероятностью принадлежности к объекту в 50 %, будет влиять на положение центра так же, как и центральная точка со 100% вероятностью, или ее присутствие будет полностью проигнорировано. В свою очередь, сильно искаженные под влиянием помех изображения могут, как значительно ухудшить результаты прогнозируемой характеристики, так и привести систему слежения в состояние неспособности адекватно реагировать на изменения положения отслеживаемые объекта [2].

Для решения задачи эффективного прогнозирования целесообразно повысить точность определения центра объекта с помощью максимального использования его информационных признаков, а также классифицировать кадры последовательности изображений пятен лазерных пучков, с целью фильтрации лазерной трассы от сильно искаженных под воздействием помех изображений, тем самым

сформировать туннель эталонных изображений.

В настоящее время большое внимание уделяется автоматической обработке и анализу образной информации, вызвано интенсивным использованием таких систем в различных областях науки и техники. Принципы оптико-электронной обработки образной информации используются при выполнении обзорно – поисковых операций, решении задач анализа и распознавания изображений объектов и сцен, решении задач наблюдения за сложными объектами на разных фонах и т.д. Такие системы получили название систем машинного зрения (СМС). Основными функциями, реализуемыми СМС, является выявление объектов, их идентификация, а также определения ориентации, координат и других параметров [3].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На этапе анализа изображений составляются описи двумерных или трехмерных сцен. Для этого применяются различные процедуры сегментации изображений, из которых наиболее информативными и часто применяемыми являются алгоритмы выделения контуров (например, на основе пространственного дифференцирования, сравнение градиентов с порогом, свертки и т.п.) и алгоритмы расширения областей. Процесс автоматического анализа визуальной информации является сложной многоэтапной процедурой. После завершения операции разложения изображения в видеодатчиков информация в аналоговой или цифровой форме поступает на следующие этапы обработки. Анализ визуальной информации представляет собой процесс, основанный на использовании структуры, анализирует, чувствительной к различным уровням детализации изображения. При этом используют различные методы обработки, идентификации и распознавания двумерных и трехмерных изображений, в том числе стереоскопические методы, методы активного зондирующего подсветки, методы рассеечения световыми решетками и др.

Как известно определение центров объектов с повышенной точностью является приоритетным в большинстве современных систем обработки изображений. Одним из прогрессивных методов является метод определения центров динамических объектов с повышенной точностью. Данный метод использует информацию контурной области объекта, которая в свою очередь образуется при наложении градиентных масок на изображение [4]. Правильный выбор порогового значения градиентного фильтра не только непосредственно или косвенно влияет на полученный результат, а также способен увеличить скорость обработки данных (при неверном выборе порогового значения в интеллектуальных системах скорость значительно понижается).

Применение же предлагаемого метода к методу определения центров объектов с повышенной точностью позволит сократить время обработки больших объемов информации, уменьшить значение корректировочных параметров, а так же повысить точность вычисления необходимых параметров [5].

Использование предлагаемого метода дает возможность находить центр объектов с повышенной точностью при выборе порогового значения близкого к эталонному. В основу предлагаемого метода положен принцип контроля переменных, которые используются для корректировки предварительно полученных результатов.

Рассмотрим зависимость точности определения центра изображения лазерного пучка от порогового значения (табл. 1). Изменяя значение порога градиентного фильтра в допустимых пределах получим следующую табличную зависимость.

Таблиця 1.

Таблиця зависимости коррекционных параметров от заданного порога

P	x	y	Δx	Δy	x^*	y^*	$ \Delta x + \Delta y $
1	64,59898	63,47989	0,14000	-1,33401	64,73898	62,14588	1,47400
2	64,49542	63,76049	0,16077	-1,38648	64,65619	62,37401	1,54725
3	63,53520	69,99340	0,40009	-2,88534	63,93530	67,10806	3,28543
4	56,25375	54,54645	2,17377	0,32145	58,42752	54,86790	2,49522
5	68,00304	61,65145	-0,49566	-1,55528	67,50739	60,09617	2,05094
6	67,46345	62,20684	-0,10210	-1,76172	67,36135	60,44512	1,86382
7	68,41914	63,02475	-0,19066	-2,03909	68,22848	60,98566	2,22975
8	68,40262	62,89525	-0,15639	-1,98121	68,24623	60,91405	2,13760
...	...	...	...	...	...	...	...
20	68,15330	62,18911	-0,02211	-1,20410	68,13118	60,98501	1,22621
21	68,09986	62,12940	-0,00069	-1,13279	68,09917	60,99661	1,13348
22	68,09972	61,83795	-0,02292	-0,96540	68,07680	60,87255	0,98832
23	68,14714	61,80790	-0,06045	-0,94450	68,08669	60,86340	1,00495
24	68,19920	61,76738	-0,12625	-0,89456	68,07295	60,87282	1,02080
25	68,20789	61,61053	-0,13796	-0,77989	68,06994	60,83064	0,91784
26	68,39359	61,53077	-0,24458	-0,75541	68,14901	60,77535	0,99999
27	67,97665	61,97665	-0,13743	-0,82125	67,83922	61,15540	0,95868
28	68,10540	61,31225	-0,16273	-0,59334	67,94267	60,71892	0,75606

где: P – порог градиентного фильтра; x, y – предварительная абсцисса та ордината центра исследуемого объекта; Δx , Δy – корректировочные данные; x^* , y^* – центр исследуемого объекта после коррекции.

Из таблицы выделим, как пример, предварительную и откорректированную ординату центра.

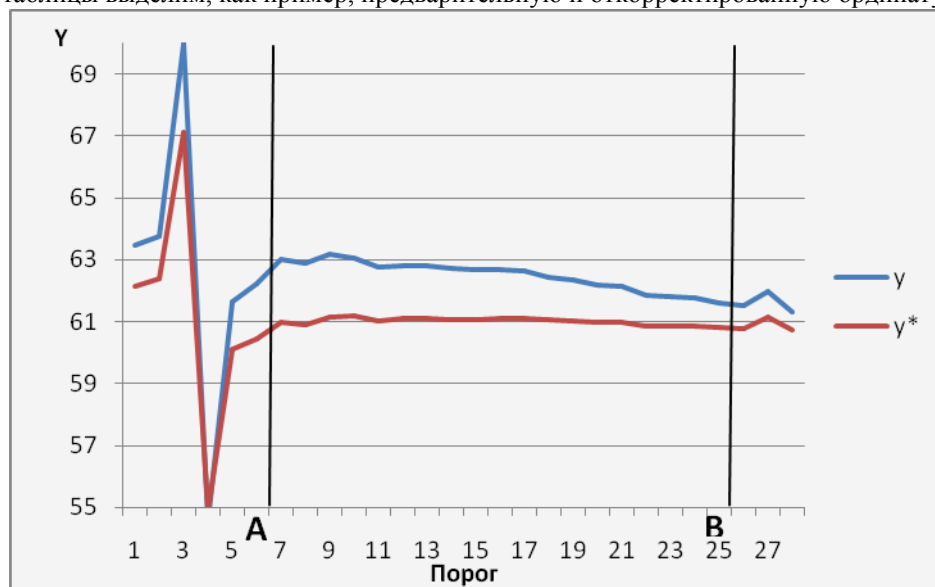


Рис.1 График изменения предварительной и откорректированной ординаты центра лазерного пятна при разных значениях порога

Преимущество используемого метода состоит в том, что при небольших отклонениях порогового значения от “идеального” это практически не влияет на результат, что четко видно из характеристики кривой y^* . Из эталонного промежутка [A, B] (рис.1) видно, что алгоритм стремится выровнять погрешность неправильно выбранного порогового значения.

Исходя от параметров кривых графика (рис.1) можно предположить, что эталонное значение

порога находится когда $|\Delta x + \Delta y| \rightarrow \min$.

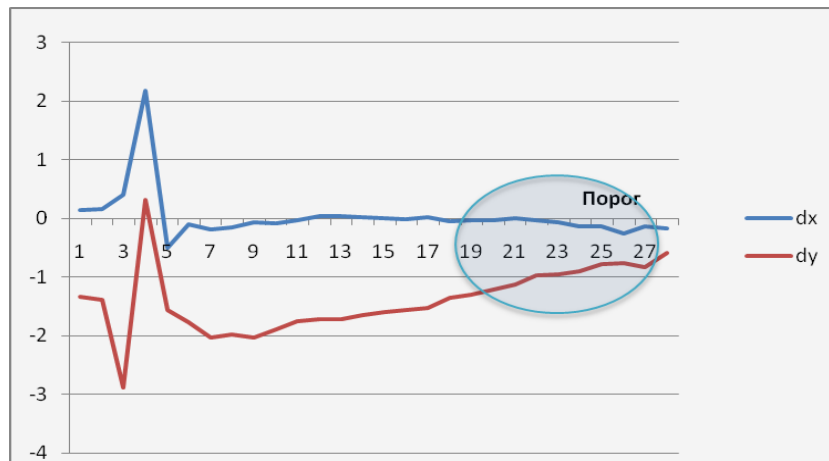


Рис.3 Графическое определение эталонного порога

Причем значения $\frac{|\Delta x + \Delta y|}{\Delta t} \approx \text{const}$ на протяжении не менее 10% от количества обрабатываемой выборки шагов, что обезопасит систему от ложных разовых пороговых значений.

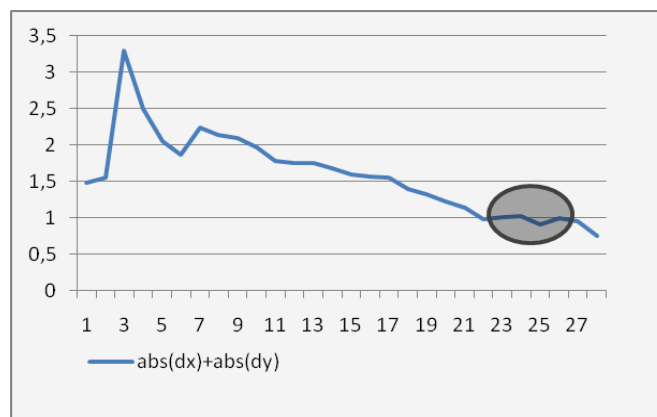


Рис.4 График усредненной зависимости координат центра лазерного пятна от значения порога

ВЫВОДЫ

В реальных условиях определение центров подвижных объектов является довольно сложной задачей. Неспособность традиционных методов точно определить центр объекта нечеткого изображения состоит в использовании одного контура или одной выборки пикселей с одинаковыми весовыми коэффициентами.

В данной работе разработан метод определения центров нечетких объектов пятноподобных форм с повышенной точностью на основе анализа контурной области с помощью градиентных масок, что значительно улучшает результаты прогнозирования характеристик динамических изображений.

Данный метод может использоваться практически во всех экспертных системах которые преобразуют, управляют и анализируют графическую информацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожем'яко В. П. Оптоэлектронный матричный процессор для предварительной обработки изображений // Всесоюзная конф. по методам и микроэлектрон. устройствам цифр. преобр. и обработки информации "Микропроцессоры-85". – М.: Ин-т электрон. техники, 1995. – Т. 2. – С. 170.
2. Чу Я. Организация ЭВМ и микропрограммирование: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 592 с.
3. Тимченко Л. І., Скорюкова Я. Г., Марков С. М., Клімкіна Д. І. Сегментація зображень об'єктів за ознаками зв'язаності // Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції „Наука і освіта ‘2004”. Дніпропетровськ. – 2004. – С. 14 – 17.

4. Железняк А. Л., Тимченко Л. І., Стасюк О. І., Скорюкова Я. Г., Марков С. М. Сегментація напівтонових зображень за ознакою зв'язаності. Монографія. – т К.:ДЕТУТ, 2008-144с.
5. Кожем'яко В. П., Кутаєв Ю. Ф., Свечніков С. В., Тимченко Л. І., Яровий А. А. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електричних засобів штучного інтелекту. Монографія. – Вінниця: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2003. – 324 с.
6. Poplavskiy A. Optic-electronic technologies for coherent tomographic images processing / V. Kohzemiako, S. Pavlov, V. Nikolaychuk, A. Poplavskiy, Hani Qasem Rashrash Al-Zoubi, I. Burdenyuk // Photonics-ODS 2008: IV International Conference on Optoelectronic Information Technologies. – Ukraine, Vinnytsia, 2008. – P. 69–70.

Надійшла до редакції 20.11.2013р.

ПАВЛОВ СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ – д.т.н., проф., проректор по науковій роботі, Вінницький національний технічний університет, г. Вінниця, Україна.

ПОПЛАВСКИЙ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ – к.т.н., старший преподаватель кафедры телекоммуникационных технологий и автоматизации, Государственный экономико-технологический университет транспорта, г. Киев, Украина.

ПОПЛАВСКАЯ АННА АНАТОЛЬЕВНА – студентка 5 курса магистратуры кафедры лазерной и оптоэлектронной техники, Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина.

БАБЮК НАТАЛЬЯ ПЕТРОВНА – аспирантка кафедры физики и фотоники, Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина.

УДК 671.375.4

А.В. АНТОНОВ, К.О. КОВАЛЬ, І.І. ІВАНЕНКО, В.А. БАРЧУК

МІКРОКОНТРОЛЕРНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ЯСКРАВОСТІ ЛАМП РОЗЖАРЮВАННЯ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, Хмельницьке шосе, 95, м.Вінниця, Україна*

Анотація. В статті розглянуто особливості побудови систем регуляторів яскравості ламп розжарювання, та доведено доцільність розробки системи регулювання. Розроблено структурну схему пристрою, обрано сучасну елементну базу, яка дозволяє виготовити високоякісну та одночасно просту і низькою собівартістю систему регулювання. Доведено переваги використання в електронному керуванні мікроконтролерів сімейства AVR фірми ATMEL, доведено розробку до експериментального зразка отримано робочі параметри розробленої системи.

Аннотация. В работе рассмотрены особенности построения систем регуляторов яркости ламп накаливания, и доказана целесообразность разработки системы регулирования. Разработана структурная схема устройства, избрано современную элементную базу, которая позволяет изготовить высококачественную и одновременно простую и низкой собиватисттью систему регулирования. Доказано преимущества использования в электронном управлении микроконтроллеров семейства AVR фирмы ATMEL, доказано разработку до экспериментального образца получено рабочие параметры разработанной системы.

Abstract. In the article the features of regulators brightness of incandescent lamps, and shown the feasibility of development of the system of regulation. The block diagram of the device is selected modern element base, which allows us to produce high quality and at the same time simple and not expensive system of regulation. The advantages of using electronic management company AVR family of microcontrollers ATMEL and parameters of the developed system.

Ключові слова: мікроконтролерна система; регулятор яскравості; лампа розжарювання.

Ключевые слова: микроконтроллерная система; регулятор яркости; лампа накаливания.

Key words: Microcontroller systems; regulator brightness, bulb.

ВСТУП ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Незважаючи на бурхливий розвиток яскравих світлодіодів, на сьогодні поки не з'явилися світлодіодні лампи в широкому комерційному обізі, здатні замінити побутові лампи розжарювання. Отримавши значного поширення енергозберігаючі люмінесцентні лампи, при значній кількості переваг, мають низку недоліків, основні – висока вартість та складна схема управління яскравістю. В сучасних пристроях регулювання освітлення широко застосовуються сімісторні регулятори потужності для живлення від мережі об'єктів управління з великою тепловою інерцією. Найчастіше застосовується сімістор типу КУ208, у якого максимально допустимий струм становить 5 А, але цього при певних практичних випадках недостатньо, та й сам сімістор вже не випускається. Для вирішення цієї проблеми застосовують тиристор КУ202, який забезпечує вдвічі більший струм навантаження і більш розповсюджений в радіоаматорської практиці. Але для роботи на обох напівперіодах мережі змінного струму їх необхідно включати в діагональ випрямного мосту, складеного з потужних діодів, при цьому спостерігається великий нагрів елементів, що підвищує пожежонебезпечність місця використання цієї системи освітлення.

Вітчизняні та зарубіжні регулятори ламп розжарювання мають ряд недоліків:

- управління тільки одним каналом;
- відсутність стабілізації яскравості;
- наявність перешкод радіоприйому, дзвін ниток ламп, дзижчання вбудованого фільтра.

Тож постає актуальне науково-практичне завдання розробки та дослідження сучасної системи регулювання яскравості ламп розжарювання.

Метою дослідження та розробки є система регулювання яскравості ламп розжарювання, у якій були б відсутні зазначенні недоліки, а робочі параметри відповідали сучасним вимогам до таких

пристроїв, зокрема:

- простота схеми (мінімальна кількість компонентів);
- функціональність (різноманіття регульованих параметрів);
- стійкість до нестабільності напруги живлення;
- мінімальний нагрів компонентів (пожежобезпечність);
- низьке енергоспоживання.

Мала кількість елементів проекрованої системи – необхідність, обумовлена можливістю її компактного розташування у малому за розмірами корпусі світильника.

Функціональність розроблюваної системи або значна кількість її регульованих параметрів потрібно забезпечити з метою розширення сегменту споживачів зацікавленого в його придбанні. Передбачається розробка системи регулювання з такими функціями:

- незалежного режиму роботи кожного каналу;
- можливості включення запам'ятовування яскравості (для будь-якого каналу);
- автоматичного включення при відновленні подачі електроенергії (можливо вимкнути);
- автовідключення, при закінченні заданого інтервалу часу;
- імітації присутності господарів.

Забезпечення захисту від підвищення напруги в мережі пов'язано з невисокою надійністю електропостачання та з періодичними стрибками напруги мережі електроживлення загального користування.

Мінімальний нагрів компонентів обумовлено:

- можливим щільним примикання системи регулювання до легкозаймистих оздоблювальних матеріалів та розраховано на цілодобовий режим роботи;
- зниженням споживаної потужності (нагрівання).

Відповідно до європейської директиви 1275/2008/ЕС від 17 грудня 2008 року [1], згідно з якою рівень енергоспоживання пристроїв, що випускаються з 2010 року, не повинен перевищувати 1 Вт в режимі очікування, проектована мікроконтролерна система регулювання яскравості ламп розжарювання повинна забезпечити дотримання цієї норми.

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ

Розроблено систему регулювання яскравості ламп розжарювання (рис. 1), яка включає об'єкти управління – лампи накали (Лн1, Лн2), виконавчі органи – ключові каскади (Кк1, Кк2), керуючий пристрій (КП), блок живлення (БЖ), який включає випрамляч (В) і стабілізатор напруги (СН). Особливістю розробленої системи є наявність двох незалежних каналів управління.

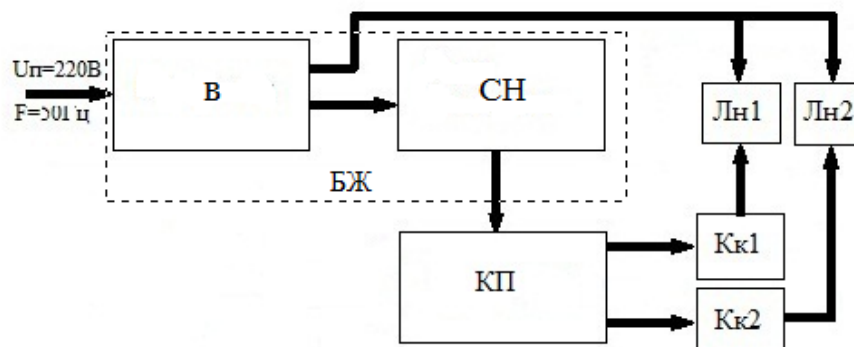


Рис. 1. Структурна схема мікроконтролерної системи регулювання яскравості ламп розжарювання

Спроекована система використовує комутацію, яка відбувається в моменти переходу мережевої напруги через нуль, а потужність регулюється, зміною числа напівперіодів напруги, що виділяються у навантаженні.

Керуючий пристрій (КП) призначений для регулювання напруги ключових каскадів шляхом лічби напівперіодів напруги в моменти переходу мережевої напруги через нуль. Регулювання здійснюється керуючим пристроєм – кнопки для кожного каналу. Керуючий пристрій цієї системи реалізовано на основі мікроконтролера (МК). Таке схемотехнічне рішення забезпечує мінімізацію габаритів такого пристрою, скорочення термінів розробки і забезпечує можливість реконфігурації системи в майбутньому. Схему електричну принципову мікроконтролерної системи регулювання яскравості ламп розжарювання представлено на рис. 2.

Для спроектованої системи регулювання використано мікроконтролер, широко вживаний та відносно доступний за вартістю ATmega16 [2]. Який має 16 КБ програмної пам'яті, 1 КБ SRAM, 512 байт EEPROM, і широкий набір периферійних пристроїв.

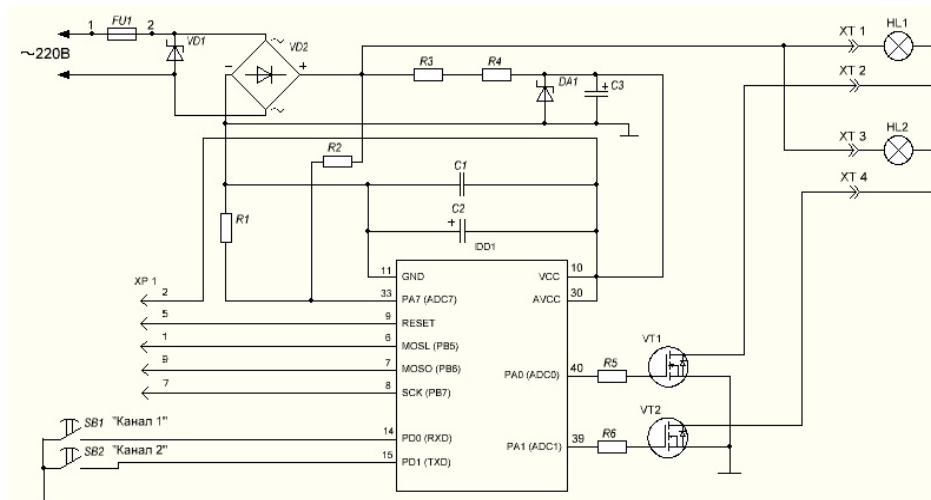


Рис.2. Електрична схема мікроконтролерної системи регулювання ламп розжарювання

Програмне забезпечення функціонування системи регулювання яскравості розроблено з урахуванням системи команд ATmega16 на мові Асемблер. На рис. 3 представлено блок-схему алгоритму роботи програми.

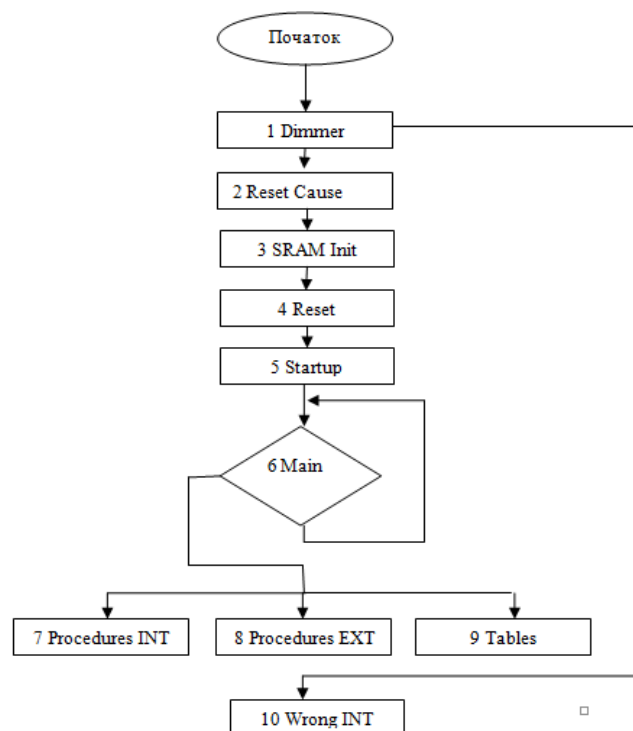


Рис.3. Блок-схема алгоритму роботи програми

Розглянемо детальніше основні функції наведеної блок-схеми.

1. Dimmer: присвоювання імен регістрам, коміткам ОЗП, периферійним пристроям, значень константам; визначення користувацьких змінних(параметрів настройки дімера), системних змінних.

2. ResetCause: виявлення і запис причини скиду МК.

3. SRAMInit: ініціалізація всіх регістрів і коміток ОЗП нульовим значенням.

4. Reset: ініціалізація периферійних пристроїв МК.

5. Startup: затримка на час стабілізації напруги живлення; зчитування параметрів з EEPROM; копіювання в регістри чи комітки ОЗП; встановлення початкових значень регістрів, коміток ОЗП,

окремих бітів; визначення попереднього стану пристрою.

6. Main: скид сторожового таймеру; детектування переходу фази мережі через нуль, вмикання каналів; зміна напруги мережі, вимикання каналів по досягненні заданого; виконання процедур, які відносяться до обох каналів; перевірка кнопки SB1 і виконання процедури, яка відноситься до першого каналу; перевірка кнопки SB2 і виконання процедури, яка відноситься до другого каналу; збереження системних змінних, які змінилися в EEPROM.

7. ProceduresINT: автовідключення першого і другого каналу; скид таймерів авто відключення; настройка таймера функції Імітація присутності господарів.

8. ProceduresEXT: читання і запис EEPROM; генерація псевдовипадкового числа; формування затримки.

9. Tables: таблиця значень яскравості; Таблиця значень відсотків.

10. WrongINT: запис інформації про спрацювання не використовуюваного переривання.

Дільник напруги утворений опорами R1 і R2 для забезпечення напруги необхідної АЦП мікроконтролера

Блок живлення системи регулювання складається з випрамляча і стабілізатора напруги на вхід якого подається напруга мережі загального користування -220 В. Випрамляч повинен забезпечувати реалізацію функцій:

- випрямлення мережевої напруги для живлення схеми;
- забезпечення мережевої напруги з подвоєною частоти (100Гц), що використовується МК для визначення моменту переходу фази мережі через нуль.

Перегорання лампи супроводжується імпульсом струму амплітудою більше 5 А, який здатний пошкодити одноамперні мости. Тому для розробленої системи обрано випрамляч КВРС610 [3], який розраховано на максимальний струм 6 А і напругу 220 В. Стабілізатор напруги забезпечує живлення мікроконтролера (+5 В). До складу стабілізатора напруги входить: джерело опорної напруги і баластний опір, для гасіння надлишку напруги. Джерелом опорної напруги обрано мікросхему живлення високої точності LM4040 [3] паралельного типу, з метою уникнення необхідності використовувати окремого джерела опорної напруги і зниження споживаного струму. Крім цього, при стрибку напруги на вході мікросхеми живлення, зі сторони шини живлення схеми, забезпечується стабільна напруга, це лише збільшить струм через мікросхему живлення. Баластний опір, утворений опорами R3 і R4, які збільшують теплове розсіювання у навколишнє середовище. Для розрахунку загального балансного опору резистора можна застосувати класичну формулу [4]

$$R = (U_{вх} - U_{ст}) / (I_n + I_{ст}),$$

де $U_{вх}$ – вхідна напруга, що знімається з виходу діодного моста; $U_{ст}$ – напруга стабілізації мікросхеми живлення; I_n – струм навантаження; $I_{ст}$ – струм мікросхеми живлення.

Розрахункове значення балансного опору становить 60 кОм, тому $R3 = R4 = 30$ кОм.

Вихідні сигнали МК подаються на ключові каскади де вони підсилюються і подаються на лампи розжарювання. В якості ключових каскадів використано польові транзистори, так як вони менше нагріваються в процесі роботи ніж біполярні. До транзисторів висуваються наступні вимоги:

- струм стоку – не менше 6 А, опір каналу – не більше 1 Ом;
- напруга стік-витік – не менше 600 В;
- двосторонній обмежувач напруги на затворі.

Виходячи з цих вимог обрано транзистори MOSFET фірми Toshiba а саме 2SK2545, які забезпечують усі зазначені вимоги та володіють необхідними параметрами.

У розробленій системі регулювання передбачено, її захист від: короткого замикання навантаження, перевищення потужності, а також захист від нестабільності мережі живлення, і аварійного підвищення напруги живлення до 380 В, що забезпечується запобіжником (на струм 0,1 А) і захисним діодом 1.5KE400CA [5].

Як впливає з аналізу принципової схеми, споживаний струм складається з суми: струму дільника напруги I_d , струму мікросхеми живлення $I_{ст}$ і струму навантаження блоку живлення I_n . В силу малих величин, зворотні струми захисного діода, випрамного моста, транзисторів, а також струми витоку конденсаторів не враховуються. Таким чином розсіювана потужність спроектованої системи регулювання визначається

$$P = U_{вх} * (I_d + I_{ст} + I_n) = 220 * [0,00016 + 0,00021 + 0,0038] = 0,92 \text{ Вт}$$

На рис. 4 зображено практичну реалізацію мікроконтролерної системи регулювання ламп розжарювання.



Рис.4.Зовнішній вигляд реалізованої мікроконтролерна система регулювання ламп розжарювання

Робочі параметри розробленої мікроконтролерної системи регулювання яскравості ламп розжарювання узагальнено та представлено у таблиці 1.

Таблиця 1.

Параметри розробленої системи регулювання

№	Параметр	Значення
1	Кількість каналів	2
2	Потужність ламп	60 Вт на кожний канал
3	Споживана потужність	не більше 0,92 Вт
4	Діапазон регулювання напруги	12 – 88 %
5	Частота напруги	50 Гц + / - 0,4 Гц
6	Напруга живлення	220 В

ВИСНОВКИ

Розроблено та реалізовано схемотехнічне рішення мікроконтролерної системи регулятора яскравості ламп розжарювання. Дослідження експериментального зразку встановили відповідність розробки сучасним вимогам до таких систем, зокрема: споживана потужність в режимі очікування 0,92 Вт; діапазон регулювання напруги 12 – 88%; потужність навантаження 60 Вт на кожний канал.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Європейська директива 1275/2008 : [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:339:0045:0052:en:PDF>
2. Баранов В. Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы / В.Н. Баранов. – М.: Издательский дом “Додека – 001”, 2004. – 288 с.
3. Пельман Б. Л. “Полупроводниковые приборы”. Справочник /Б. Л. Пельман. – М.: 1997. – 254 с.
4. Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоэлектронной аппаратуры/ Г.Д. Фрумкин. - М.: Высшая школа, 1988. – 288 с.
5. Кечиев Л. Н, Пожидаев Е. Д. "Защита электронных средств от воздействия статического электричества"/ Л. Н. Кечиев, Е. Д. Пожидаев - М.: ИД "Технологии", 2005. – 366 с.

Надійшла до редакції 10.12.2013р.

АНТОНОВ АРТЕМ ВАСИЛЬОВИЧ – студент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

КОВАЛЬ КОНСТЯНТИН ОЛЕГОВИЧ – кандидат технічних наук, науковий співробітник, ст. викладач кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ІВАНЕНКО ІВАН ІГОРОВИЧ – студент кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

БАРЧУК ВІТАЛІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ – аспірант кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ЗОРУ І ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ З ОБРОБКОЮ ТА РОЗПІЗНАВАННЯМ ЗОБРАЖЕНЬ

УДК 004.4; 656.022; 004.272

А.А. ЯРОВИЙ¹, Л.І. ТИМЧЕНКО², В.В. МУДРИК¹, М.С. МАТЕЙЧУК¹, О.О. МОРФІЯНЕЦЬ¹

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

¹ *Вінницький національний технічний університет,
21021, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна,
тел.: +380 (432) 580019, E-mail: axa@vinnitsa.com*

² *Державний економіко-технологічний університет
транспортного,
03049, вул. Лукашевича, 19, Київ, Україна,
тел.: +380 (44) 4654280, E-mail: timchen@list.ru*

Анотація. В проведених дослідженнях проаналізовано способи підвищення продуктивності інтелектуально-комп'ютерних засобів підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку на основі застосування GPGPU технологій паралельних обчислень та технологій інтелектуального аналізу даних. Розроблено програмний засіб, призначений для обліку каналів транспортної мережі зв'язку.

Аннотация. В проведенных исследованиях проанализированы способы повышения производительности интеллектуально-компьютерных средств поддержки эксплуатации транспортной сети связи на базе применения GPGPU технологий параллельных вычислений и технологий интеллектуального анализа данных. Разработан программный продукт, предназначенный для учета каналов транспортной сети связи.

Abstract. The analysis of methods for performance improvement of intellectual-computer facilities of the transportation network exploitation support on the base of GPGPU technologies for parallel computing and Data Mining technologies is carried out. The software intended for channel accounting of telecommunication transportation network is developed on the base of scientific researches.

Ключові слова: транспортна мережа зв'язку, телекомунікації, кластеризація, GPGPU технології, operations support systems.

ВСТУП

До транспортної мережі зв'язку (ТМЗ), яка є базою надання послуг кінцевому користувачеві, завжди висувались вимоги надійності, продуктивності, керованості, масштабованості та здатності до розвитку. Тому паралельні та розподілені обчислення в межах кластерних комплексів на основі волоконно-оптичних ліній зв'язку та систем передачі інформації вже давно зайняли провідне місце у транспортних мережах. Але, з появою та широким розповсюдженням новітніх телекомунікаційних послуг, до ТМЗ висуваються нові вимоги високопродуктивності, швидкодії, мультисервісності та економічності, що спричинене комплексом прикладних проблемних аспектів, до яких, в тому числі, належить також і велика трудомісткість при виконанні робіт з обліку каналів зв'язку та характеристик працездатності обладнання. Зважаючи на вказані особливості, потрібно відзначити, що сучасною тенденцією розвитку ТМЗ є впровадження інноваційних технологій, і зокрема: застосування інтелектуально-комп'ютерних систем телекомунікацій, діагностики і контролю; організації високопродуктивних обчислювальних процесів в інтелектуалізованих системах та мережах; впровадження сучасних паралельно-ієрархічних технологій для покращення характеристик пропускну здатності існуючих транспортних мереж зв'язку, ефективної організації високошвидкісних магістральних каналів зв'язку, надання нових широкосмугових сервісів, включаючи специфічні вимоги до

функціонування залізничних сервісів [1-3].

З метою інтенсифікації впровадження на залізницях України новітніх комп'ютерних технологій, інформаційних і автоматизованих керуючих систем і технологій активно здійснюються різноманітні науково-прикладні дослідження. Зокрема, Державним економіко-технологічним університетом транспорту спільно з Інститутом електродинаміки НАН України за участю фахівців Укрзалізниці була розроблена "Науково-технічна концепція створення корпоративної інтегрованої системи управління електричними мережами Укрзалізниці" і прийнята за основу напрямків розвитку автоматизації та інформатизації господарства електропостачання залізничного транспорту. В основу її концепції покладено нові принципи і сучасні методи синтезу інтегрованих інформаційних технологій, які забезпечують з єдиних інформаційних позицій: організацію моніторингу різних режимів роботи електричних мереж, оперативного-диспетчерського управління; діагностику силового електричного обладнання; управління споживанням електроенергії залізницями та іншими споживачами [1,2].

Для операторів транспортних мереж є ряд першочергових факторів при роботі із відповідними системами підтримки експлуатації ТМЗ, серед яких можна виділити найбільш пріоритетні: масштабованість, гнучкість, налаштовуваність. Адже лише співробітники служб експлуатації в деталях знають поточний стан устаткування, щодо фахівців відділів розвитку, – то лише вони адекватно оцінюють перспективи мережі. Необхідно відзначити, що на вітчизняному ринку програмної продукції на сучасному етапі існує досить велика кількість різноманітних програмних засобів, проте серед них лише невелика кількість орієнтованих на вирішення задач адміністрування та технічного обліку. У зв'язку із цим актуальною задачею є розробка спеціалізованих програмних продуктів у вказаній сфері. Особливо гостро існує потреба розроблення програмного забезпечення (ПЗ) для автоматизованих систем підтримки експлуатації вітчизняної транспортної мережі зв'язку. На основі проведеного аналізу програмних продуктів для вирішення вказаних задач у сфері телекомунікацій, необхідно зазначити, що на світовому ринку присутні близько 200 розробників OSS-рішень (Operations Support Systems), із них лише близько десяти у країнах СНД, зокрема однією із провідних на ринку є система «Кросс-Про» (ООО «SDL», Росія) [2,4-7]. Проте, дані програмні продукти мають певні недоліки та труднощі у впровадженні на вітчизняних підприємствах. На це впливають багато факторів, основними з яких є: мала кількість (або ж відсутність) представництв у нашій країні, що дещо знижує оперативність та якість сервісного обслуговування; достатньо дорога вартість пропонованого ПЗ, тощо. Також нерідко виникає ситуація, пов'язана із тим, що вітчизняна телекомунікаційна дійсність не завжди «задовольняє» зарубіжну ідеологію [2,8].

Зважаючи на вищевказане, у даній роботі досліджуються принципи розробки, функціонування та підвищення продуктивності автоматизованої системи підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку, а також акцентується увага на застосуванні додаткових функцій з обліку та визначення якості функціонування каналів та трактів транспортної мережі зв'язку з передачею інформації на робоче місце працівників центру керування.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є підвищення продуктивності інтелектуально-комп'ютерних засобів підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку на основі застосування GPGPU технологій паралельних обчислень та технологій інтелектуального аналізу даних.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

На сучасному етапі розвитку телекомунікаційних мереж важливим фактором успіху є швидкість надання послуги замовнику [4,5]. Зокрема, одним із видів послуг, що надається оператором транспортної мережі є оренда каналів зв'язку. Варто відмітити, що залізниця має виняткові умови, для надання такого виду послуг, адже сполучає найважливіші населені пункти країни, і разом з тим є власником земельної ділянки, по якій проходять колії. Останній фактор значно полегшує прокладання кабельної мережі, тому що проект потребує меншої кількості організацій з якими треба його погоджувати. Виходячи з цих положень, для подальшого розвитку транспортної мережі необхідно, щоб послуга надавалась орендарю у найкоротший термін. Запорукою високої швидкості обробки замовлень є надійна та гнучка система інвентаризації технічної бази оператора (Resource/Inventory Management – у сучасній термінології) [5].

При розробці сучасних мереж фізичного рівня основна увага виробників приділяється керуванню безпосередньо мережею, а також обробці інформації та локалізації аварійних станів мережі. Такі операції зазвичай закріплені за центрами моніторингу і технічної підтримки (Operation and Maintenance Center – ОМС), які мають достатньо потужне програмне забезпечення, що надається виробником. Однак, виходячи з функцій, необхідних цим системам, а також структури побудови мереж

SDH та PDH такі програмні пакети не мають цілісної картини стану мережі. До того ж, для уникнення залежності від одного виробника, більшість операторів встановлюють на різних сегментах мережі обладнання різних виробників, що, інколи, робить інтеграцію подібних структур практично неможливою. Таким чином, маємо ситуацію, коли оператор має повну інформацію про стан та роботу сегменту мережі, проте, коли необхідно віднайти проходження якогось каналу через мережу оператора, то інженер має відкривати різні програмні пакети та переглядати маршрут в кожному сегменті мережі. У випадку надання послуги оренди каналу ситуація стає ще складнішою. Так як при отриманні заявки на оренду каналу між деякими пунктами інженер має перевірити наявність вільних каналів у кожному сегменті мережі. І врешті, може виявитись, що на певній ділянці технічної можливості прокладання каналу немає, і подібну операцію необхідно здійснювати спочатку [2-6].

В результаті проведених наукових досліджень проаналізовано існуючі методики, алгоритми та комп'ютерні засоби роботи автоматизованої системи підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку. На основі проведеного аналізу визначено загальний перелік системних вимог до проектування вказаної системи та подальшого її функціонування: контроль користувачів, із наданням певних обмежень, щодо їх груп; гнучкий пошук; можливості зберігання та завантаження бази даних; друк вибраних даних; можливість створення та завантаження резервної копії даних; ведення історії змін; при всіх вище наведених пунктах, потрібно враховувати специфічну логіку системи комунікацій та вимоги операторів [2].

В межах даного наукового дослідження розроблено програмний засіб, призначений для інформаційного забезпечення діяльності керівників, спеціалістів підприємств, операторів при експлуатації ТМЗ. При його впровадженні очікується скорочення трудових та фінансових витрат на обслуговування автоматизованої системи підтримки експлуатації ТМЗ за рахунок зменшення часу пошуку вільних каналів; підвищення безперебійності роботи транспортної мережі залізничного транспорту за рахунок ефективного оброблення експлуатаційних даних про стан телекомунікаційного обладнання; зменшення паперових операцій при обміні даних між різноманітними службами; зменшення часу на обробку історії роботи обладнання, та історії зміни проходження каналів; підвищення якості роботи оператора, та повноти отриманих ним даних.

Розроблений програмний засіб виконано у вигляді конструктора, що використовує при моделюванні структури ТМЗ принципи об'єктно-орієнтованого підходу і являє інтерактивну систему обліку та адміністрування мережі. В якості ресурсів можуть використовуватися як прості, так і складні об'єкти, які мають ієрархічну та мережеву структуру, із великою кількістю елементів та зв'язків між ними [3,8,9].

У системі є два рівня моделі мережі: віртуальний та реальний. На віртуальному рівні задаються типи об'єктів, їх властивості, зв'язки між об'єктами. Із використанням віртуальних об'єктів будуються віртуальні схеми, шаблони та документи. На реальному рівні виконується побудова діючої структури мережі. Під час роботи із даним типом схеми система обмежує набір об'єктів і зв'язків між ними згідно із тим, що задано на віртуальному рівні. Даний підхід дозволяє при необхідності вносити в структуру моделі будь-які зміни в процесі роботи [2,3].

Облік каналів транспортної мережі зв'язку. Структурно-функціональна організація системи з обліку каналів транспортної мережі зв'язку містить такі основні етапи: авторизація, завантаження даних, запис даних, пошук даних, резервне копіювання, ведення історії змін. На рис. 1 представлено діаграму класів розробленого програмного продукту.

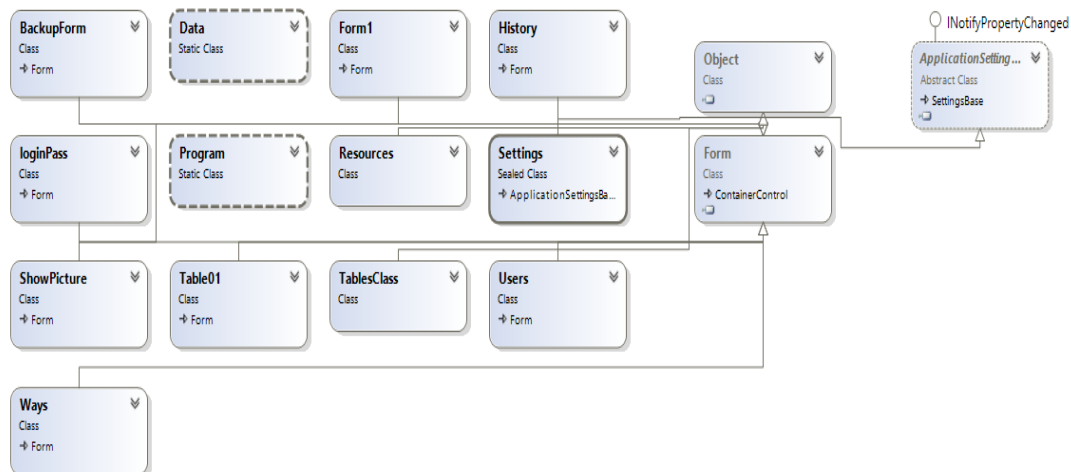


Рис. 1. Діаграма класів програмних модулів системи обліку каналів ТМЗ

Усі блоки діаграми, крім ApplicationSettings наслідуються від класів Form та Object, адже відповідно до парадигми об'єктно-орієнтованого програмування дані об'єкти наслідуються від батьківської форми та об'єкту. Оскільки головним наслідником є клас Form1, то у ньому використовуються всі інші класи, а саме: BackupForm – клас управління резервними копіями; History – клас управління історією; loginPass – клас входу у програму; Resources – клас ресурсів, усіх контролів, які знаходяться на формі; ShowPicture – показує відповідне відображення обраного апаратного забезпечення ТМЗ; Table1 – клас, який наслідуються від класу TablesClass та використовується для тестування занесених у таблиці даних; TablesClass – клас, який відповідає за заповнення таблиць; Users – клас управління користувачами; Ways – використовується для побудови шляхів маршрутів елементів у мережі. Класи Data та Program статичні (рис. 1), тому вони мають певну автономність щодо розширення та наслідування. Клас Data – відповідає за передавання даних між різними екземплярами класу Form. Клас Program – відповідає за запуск обраного екземпляру класу Form.

Зупинимось детальніше на розробці алгоритму обробки складання маршрутів проходження каналів. Задачу знаходження оптимальної кількості каналів визначено так: задано мережу, в якій існують станції для передачі та обміну інформацією; задано інформацію про ненаправлені зв'язки між станціями; задано максимальну пропускну здатність кожного зі зв'язків. Зв'язки та станції можуть динамічно видалятися та додаватися, а також може змінюватися пропускну здатність деяких зв'язків. Розроблено алгоритм, який надає можливість швидко відповідати на такий запит: визначити шлях серед усіх можливих шляхів, у якого пропускну здатність є максимальною, а також визначити його пропускну здатність. Представимо мережу у вигляді зваженого неорієнтованого графу з n вершин і m ребер, де станції – це вершини, зв'язки – ребра, пропускну здатність зв'язку – вага відповідного ребра. Ребра та вершини графа можуть видалятися та додаватися, вага ребра може змінюватися. Вирішенням поставленої задачі є *fully dynamic online* алгоритм, який для заданої пари вершин (A, B) буде знаходити оптимальний шлях серед усіх можливих.

В проведеному дослідженні розглянуто три способи вирішення задачі. Перший спосіб полягає у застосуванні бінарного пошуку і пошуку у глибину. Асимптотична складність такого алгоритму рівна $O(m \times \log(m))$. Другий спосіб використовує модифікований алгоритм Дейкстри, складність якого рівна $O(m \times \log(n))$, або, при використанні Фібоначевої купи (Fibonacci heap) – $O(m + n \log(n))$. Згідно до третього способу, задачу було зведено до задачі на максимальному остовному дереві графа. В цьому випадку використовується алгоритм, який підтримує максимальне остовне дерево у динамічному графі, а відповідь на запит реалізується за допомогою динамічних дерев Тар'яна і Слейтора. Складність алгоритму рівна $O(m^{1/2} + \log(n))$. Для перевірки коректності застосування перших двох способів було доведено адекватність їх роботи для даної задачі. Для перевірки коректності зведення задачі до задачі на максимальному остовному дереві було доведено еквівалентність задачі на графі та задачі на максимальному остовному дереві. Здійснено тестування алгоритму на згенерованих випадковим чином графах до 10^6 вершин та ребер протягом 5 годин із апаратним забезпеченням, яке виконує близько 10^9 операцій в секунду, в результаті чого підтверджено адекватність алгоритму [2].

З метою тестування створених моделей автоматизованої системи підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку відтворено невелику віртуальну мережу, що складається з мінімально необхідних обсягів обладнання. Для успішного тестування моделі пропонується здійснити його в два етапи:

- 1) створення мережі з топологією типу кільце і тестування роботи алгоритмів у межах цієї мережі;
- 2) створення та об'єднання кількох кільцевих мереж з подальшим прокладанням каналів, де початкова точка належить одній мережі, а кінцева іншій.

Склад та топологія тестової мережі: побудовано тестову мережу, що складається з такого обладнання: мультиплексор типу – OMS1200 EX [10]; плата STM-1 – Core /CCU [11]; плата E1 – LTU 21*2M (типу E1), плата Ethernet – ETA-100. Топологія тестової мережі представлена на рис. 2, 3 [7]. Відповідно до створеної моделі бази даних заповнено бібліотеку обладнання.

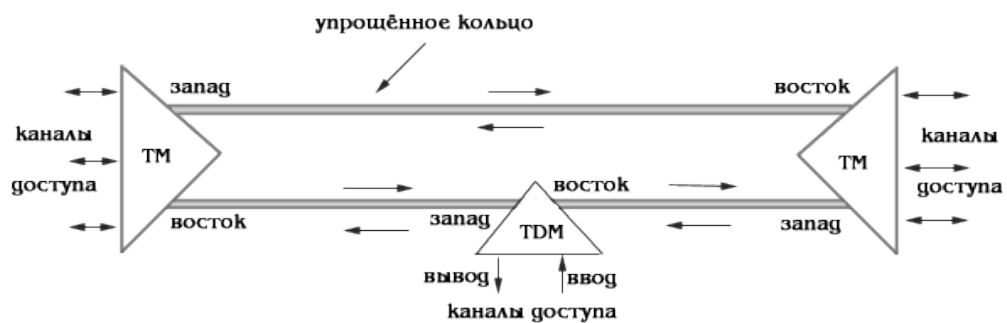


Рис. 2. Топологія тестової мережі типу кільце

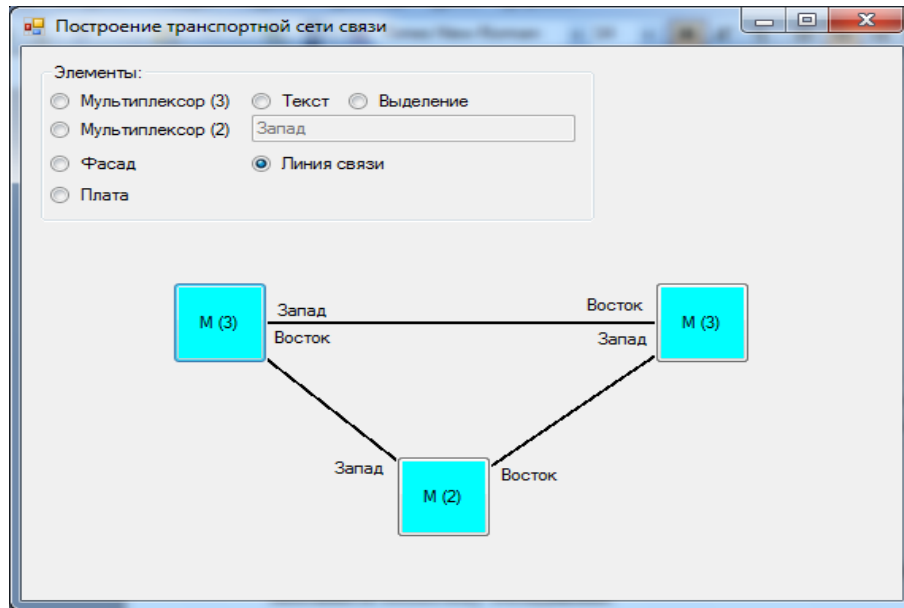


Рис.3. Створений фрагмент "Мережа типу кільце"

Також, в межах другого етапу тестування, побудовано дві мережі типу кільце, з'єднаних між собою LTU платою типу STM-1 (рис. 4).

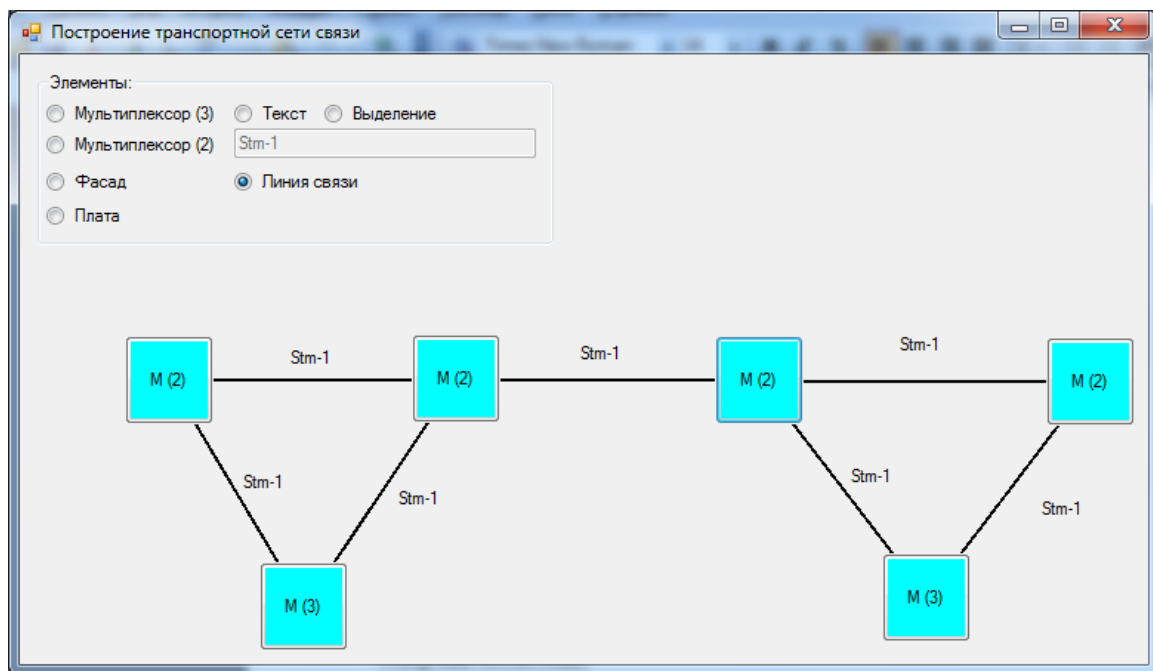


Рис.4. Створений фрагмент об'єднання двох кільцевих мереж

Мережа представлена на рис. 4, складається з двох ідентичних кілець, які є повною копією мережі (рис. 3). За тим лише винятком, що мультиплексори (2 і 3) з'єднані між собою LTU платою типу STM-1.

Відповідно до умов тестової мережі та тестових завдань [2], робота програмного забезпечення відповідає наступним критеріям: при спробі створення каналу між обладнанням, що не має фізичного з'єднання (попередньо створеного), користувачу має надходити попередження; при створенні нового каналу, від загальної ємності каналів повинна відніматись одиниця; при створенні нового каналу типу "Ethernet" загальною ємністю $VC-12 \times n$, від загальної ємності каналу повинно відніматись стільки ж каналів (відповідно n); при спробі створення каналу при повністю зайнятій платі LTU, користувачу має надходити попередження; при спробі створення каналу при повністю зайнятому потоці STM, користувачу має надходити попередження; при спробі створення каналу при повністю зайнятому потоці STM-1 Single Optical TC, користувачу має надходити попередження; при прокладанні резервів, перевіряється наявність вільного місця; на будь якому відрізьку можливо отримати статистику виду:

"Кількість вільних фізичних каналів каналів"; "Кількість зайнятих каналів"; "Кількість зайнятих каналів під резерв"; "Кількість логічних каналів (без врахування їх резерву) резерву".

Таким чином, прив'язка до обладнання дозволяє вести не лише облік та статистику по вузлах системи, а й контролювати цілість та правильність введених даних. На основі даних про існуюче обладнання сформовано контрольний приклад, що дозволив провести багатосторонню перевірку роботи бази даних, а також її стійкість до помилкових дій.

Комп'ютерне моделювання та програмна реалізація обліку каналів транспортної мережі зв'язку на основі застосування технологій інтелектуального аналізу даних. Оскільки в інтелектуальному модулі системи, що розробляється, потрібно буде будувати транспортну мережу зв'язку, враховуючи дані, які записані у базі даних, то виникає необхідність ефективної вибірки цих даних та їх групування, для швидшого доступу до них. На основі проведеного аналізу прийнято рішення застосувати алгоритми кластеризації "Data Mining (зокрема, алгоритм k-means), тобто інтелектуального аналізу даних, що використовуються для виявлення в даних раніше невідомих, нетривіальних, практично корисних і доступних інтерпретаціях знань, необхідних для прийняття рішень [12].

На першому етапі комп'ютерного моделювання було побудовано фрагмент транспортної мережі, що представлено на рис. 5. При цьому програмний засіб повідомлення про помилку не видав, оскільки архітектура мережі не суперечила заданій інформації у базі даних.

На рис. 5 представлено з'єднання мультимплексорів із використанням максимальної кількості їх зв'язків. У такому випадку програма повідомлення про помилку не видала, оскільки дане правило занесено у базу даних. Далі на рис. 6 представлено попередній приклад з'єднання мультимплексорів, але із неправильним з'єднанням одного з них. При такому з'єднанні, яке показано на рис. 6, в ході роботи програмного засобу було отримано вікно із повідомленням про помилку.

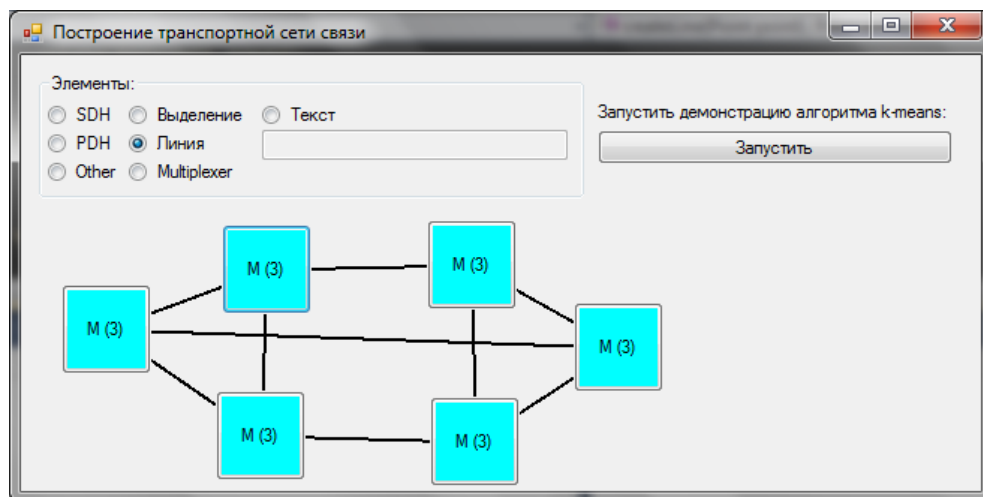


Рис. 5. З'єднання 6 мультимплексорів із 3 зв'язками

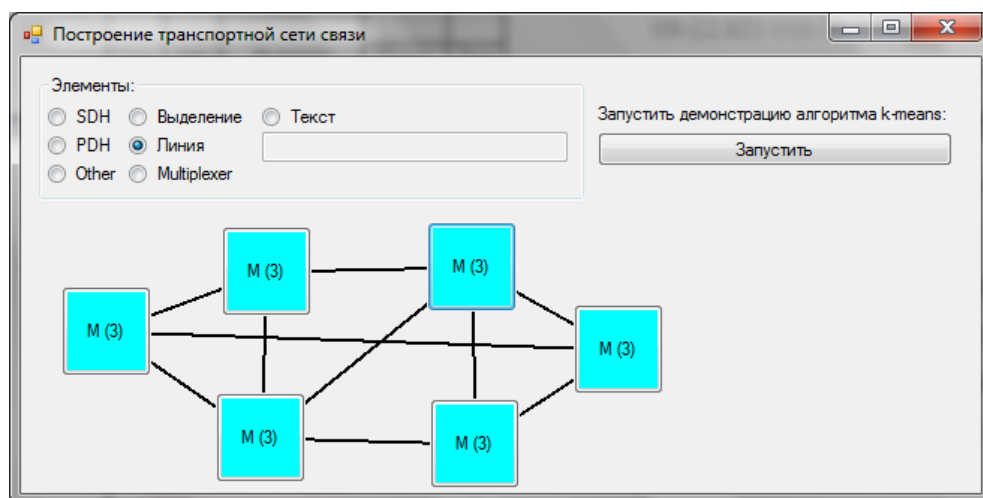


Рис. 6. Перевищення максимальної кількості з'єднань

На другому етапі тестування здійснено побудову фрагмента транспортної мережі SDH (рис. 7).

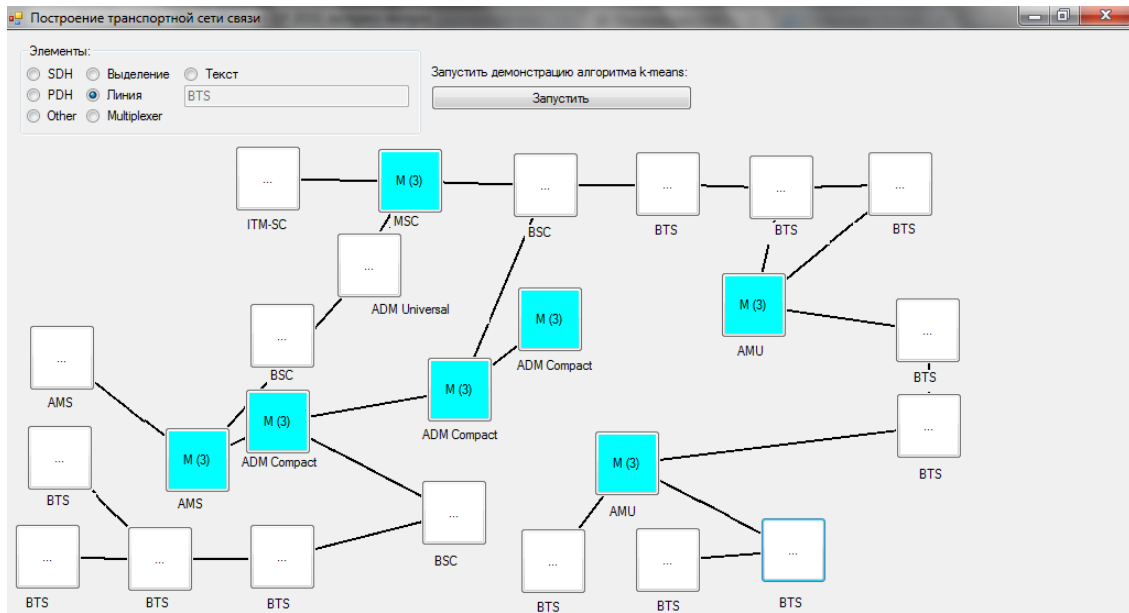


Рис. 7. Побудова транспортної мережі SDH

На даному етапі помилки не виникло, оскільки SDH мережа побудована коректно, що свідчить про те, що алгоритм k-means працює правильно.

Для того щоб протестувати алгоритм k-means, розроблено графічний модуль, який дозволяє побачити роботу алгоритму. Для тестування було обрано, відповідно, 1000 та 60000 записів у БД (точок) для кластеризації. Графічне відображення результатів кластеризації 1000 точок представлено на рис. 8.

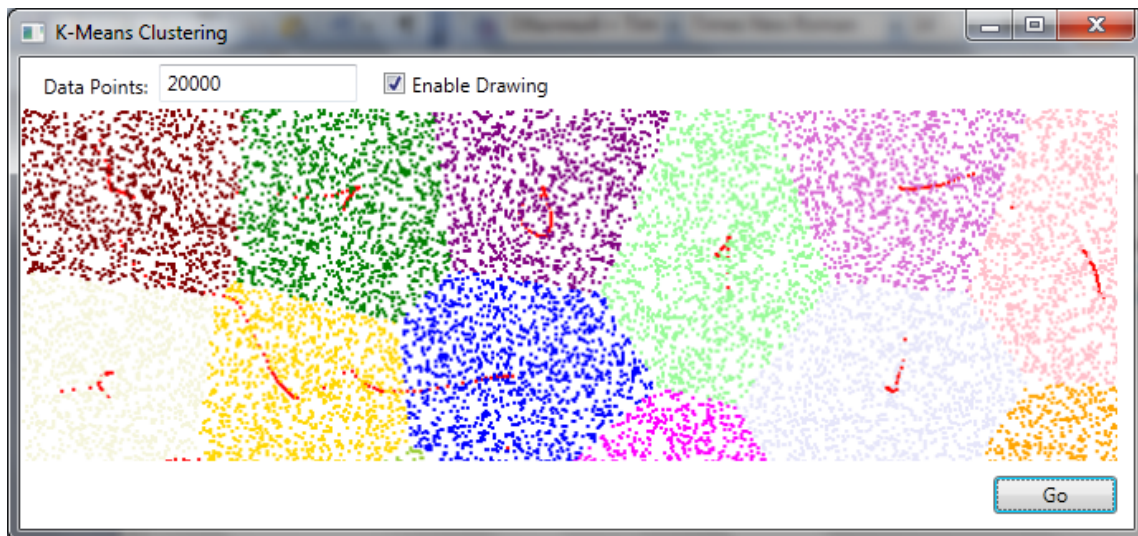


Рис. 8. Кластеризована структура точок

Використовуючи алгоритм k-means, інтелектуальний модуль кластеризував 1000 точок за 0,5989 с, а використовуючи багатопоточність – 0,5922 с. Для даного прикладу приріст виявився достатньо не великим. Проте, при кластеризації 60000 точок, отримано такі результати: в однопоточному режимі – 5,3837 с, а використовуючи багатопоточність – 4,2628 с [3].

Як видно із вищенаведених результатів, чим більший масив даних обробляється, тим більший приріст продуктивності отримується. У подальших дослідженнях планується детальніше розглянути вищенаведені алгоритми на основі використання такої передової технології, як GPGPU.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ GPGPU ТЕХНОЛОГІЙ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ У АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ

В науковому дослідженні особливо акцентовано увагу на перспективності застосування в межах поставленої прикладної задачі технологій паралельних обчислень, зокрема GPGPU. В розробленому

програмному засобі GPGPU-обчислення здійснюються сумісним використанням CPU і GPU в гетерогенній моделі обчислень. Стандартна частина програми виконується на CPU, а більш вимоглива до обчислень частина обробляється з GPU-прискоренням. З точки зору користувача програма працює швидше, оскільки вона використовує високу продуктивність GPU для підвищення загальної швидкодії. Хоча тактові частоти GPU нижчі, ніж у звичайних процесорів (CPU), і містяться в діапазоні від 0,5 до 1,5 ГГц, проте завдяки великій кількості потокових процесорів продуктивність GPU-систем досить значна. Сучасні GPU верхнього цінового сегменту мають пікову продуктивність 1-2,5 TFLOPS, що у поєднанні з можливістю установки в одну машину двох графічних адаптерів дозволяє отримати пікову продуктивність в 5 TFLOPS на одному персональному комп'ютері. Більш того, на деяких реальних задачах досягається до 70% пікової продуктивності. Одночасно з цим, порівняно з класичними кластерними системами, GPU володіють значно кращими характеристиками як за ціною (менше 1 дол. на GFLOPS), так і за енергоспоживанням (менше 1 Вт на GFLOPS) [3,8,9,13,14].

Актуальність даного напрямку обумовлена зокрема і тим, що пошук інформації в базах даних є однією з найважливіших задач в інформаційних технологіях на сьогодні. Організація паралельного пошуку із використанням технології GPGPU в надвеликих базах даних та сховищах даних є актуальною науковою та прикладною задачею. Варто відзначити, що академічні центри таких компаній як Oracle, Microsoft, SAP зацікавлені пошуком масштабованих рішень на базі графічних процесорів (GPU) [15].

Перш за все варто розглянути архітектуру існуючих баз даних. Практично в будь-якій її основі у якості структури даних для зберігання лежить В-дерево. Воно являє собою збалансоване дерево пошуку, створене спеціально для швидкої роботи з дисковою пам'яттю. В-дерева можуть мати вузли, кількість яких може сягати декілька тисяч, так що степінь розгалуження В-дерева може бути дуже великою. В-дерева з n вузлами мають обчислювальну складність $O(\lg n)$, таким чином, вони можуть використовуватися для реалізації багатьох операцій над динамічними множинами за цей час. Вузким місцем системи обробки баз даних є продуктивність дискової підсистеми, з цієї причини в алгоритмах їх обробки роблять акцент на кількість звернень до дискової підсистеми; обчислювальний час (час процесора).

В цьому контексті необхідно відзначити останні дослідження запитів у існуючій СУБД SQLite [15]. Найпростіший select-запит складається з ініціалізації таблиці, циклу по всіх рядках і очищення ресурсів. Його GPU-рішення використовує практично всі види пам'яті, які надаються програмною моделлю CUDA. Регістрова пам'ять використовується для зберігання зсувів у блоці даних і результатів. Колективна пам'ять використовується для зберігання результатів кожного потоку. У константній пам'яті зберігається програма віртуальної машини, яку виконує кожен з потоків, і так само службова інформація, наприклад, розмірність оброблюваних типів. Глобальна пам'ять зберігає оброблювані дані. Дані однієї таблиці постійно зберігаються в пам'яті GPU, для того, щоб знизити розмір переданих даних через шину для кожного запиту. Для запуску вибірки над множиною даних необхідно перетворити В-дерево в табличну структуру. Отримані результати паралельної організації обчислювальних процесів із використанням GPU-прискорювачів за технологією "Fermi" при роботі системи підтримки експлуатації ТМЗ у вказаному дослідженні можна розділити на ті, в яких враховувався час передачі з host на device, і де не враховується. В проведених експериментальних дослідженнях, без врахування часу завантаження даних на GPU запити виконувалися в середньому в 50 разів швидше, ніж на звичайному процесорі. Якщо враховувати час передачі – в середньому GPU виявилося швидше у 36 разів [2,3,8,15].

ВИСНОВКИ

Таким чином, в ході проведених досліджень проаналізовано способи підвищення продуктивності інтелектуально-комп'ютерних засобів підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку на основі застосування GPGPU технологій паралельних обчислень та технологій інтелектуального аналізу даних, а також відзначено прикладні аспекти їх застосування. Розроблено програмний засіб, що призначений для інформаційного забезпечення діяльності керівників та спеціалістів підприємств в процесі експлуатації і розвитку транспортної мережі. Його застосування матиме ефект для забезпечення централізації інформації з технічного обліку, підвищення якості прийняття технологічних та адміністративних рішень, підвищення точності обліку, забезпечення цілісності інформації. До основної мети та переваг використання розробленого програмного засобу можна віднести: підвищення ефективності експлуатаційно-технічного обслуговування мережі організації за рахунок автоматизації технологічних процесів обліку обладнання, мережі, каналів та послуг; скорочення часу надання послуг і підвищення якості прийняття рішень, за рахунок створення єдиного інформаційного простору, що забезпечує посадових осіб структурних підрозділів організації актуальною і повною інформацією; економія витрат на обслуговування мережі за рахунок більш повного використання ресурсів організації, а також на

персонал в умовах росту обсягів мережі; підвищення якості наданих клієнтам послуг за рахунок прискорення локалізації аварій і скорочення часу на аварійно-відновлювані роботи; ріст прибутку організації за рахунок скорочення часу простою обладнання, зниження кількості відмов. Економічний ефект від впровадження результатів даних досліджень полягає в заміщенні традиційних обчислювальних систем – інтелектуальними з розширеним набором функціональних можливостей, що дозволяє зменшити витрати на придбання спеціалізованих обчислювальних програмно-апаратних комплексів і надає можливість збільшити продуктивність та інформаційну пропускну здатність системи при її розвитку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Засоби моніторингу систем електропостачання залізниць. / В.Л. Тутик, Ю.В. Пилипенко, Р.Б. Каменський, П.Й. Тарасович, І.В. Невечера, В.М. Стретович : збірник наукових праць II Міжнародної конференції [«Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС (ESS'11)»], (Київ, 7-10 червня 2011 р.) – [Електронний ресурс] – Тип доступу: <http://www.ess.kpi.ua/index.php/en/archive/past-conferences/ess10-2?layout=edit&id=55>.
2. Тимченко Л.І., Яровий А.А., Кокряцька Н.І. та ін. Науковий проект „Розробка алгоритмів роботи автоматизованої системи підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку” (№ держ. реєстрації: 0113U003214). Заключний звіт. 24.12.2012. – 77 с.
3. Комп'ютерні засоби для підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку на основі її кластерної організації із застосуванням GPGPU технологій / Яровий А.А., Мудрик В.В. : тези доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції [Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації (МЗКЗУІ-2013)], (Вінниця, 23-25 квітня 2013 р.) – Вінниця, ТД Едельвейс і К, 2013. – С. 314-317.
4. Программное обеспечение для учета и администрирования сетей. – [Електронний ресурс] – Тип доступу: <http://www.sdl.ru>.
5. K. Terplan OSS essentials: support system solutions for service providers / K. Terplan. – John Wiley. – 2001. – 610 p.
6. System Developments Labs. Cross Pro v.7. – [Електронний ресурс] – Тип доступу: <http://www.sdl.ru/crossprov7.html>.
7. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET и WDM) / Слепов Н.Н. – М.: Радио и связь, 2000. – 468 с.
8. Программний комплекс для моніторингу та підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку із використанням технології GPGPU / Яровий А.А., Мудрик В.В. : збірник праць Восьмої Міжнародної науково-практичної конференції [Інтернет-Освіта-Наука (ІОН-2012)], (Вінниця, 1-5 жовтня 2012 р.) – Вінниця, ВНТУ, 2012. – С. 49-50.
9. Система підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку на основі комп'ютерних засобів з GPU-прискоренням / Яровий А.А., Мудрик В.В. : Збірник матеріалів II Міжнародної науково-технічної конференції [Обчислювальний інтелект (ComInt-2013)], (Черкаси, 14-18 травня 2013 р.) – Черкаси, Маклаут, 2013. – с. 451-452.
10. Marconi's UC & EX family. Release 3.3.1
11. Marconi's the technical description for the UC & EX family equipment Release 3.3.1.
12. Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.
13. Аналіз технологій мультитіпової обробки даних на GPU для організації масивно-паралельних обчислень. / Яровий А.А., Мудрик В.В. : тези доповідей 3 Міжнародної науково-технічної конференції [Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія], (29-31 травня 2012 р.) – Вінниця, ВНТУ, 2012 – с. 50-51.
14. Перспективи впровадження технологій GPGPU в структуру автоматизованої системи підтримки експлуатації транспортної мережі зв'язку / Яровий А.А., Мудрик В.В. : Збірник тез доповідей Шостої Міжнародної науково-технічної конференції [Фотоніка ОДС-2012)], (Вінниця, 1-4 жовтня 2012 р.) – Вінниця, "ТД Едельвейс і К", 2012. – с. 37-38.
15. Accelerating SQL Database Operations on a GPU with CUDA: Extended Results : [Електронний ресурс] – Тип доступу: http://www.cs.virginia.edu/~skadron/Papers/bakkum_sqlite_tr.pdf.

Надійшла до редакції 31.10.2013р.

ЯРОВИЙ А.А. – к.т.н., доцент, професор кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

ТИМЧЕНКО Л.І. – д.т.н., професор, завідувач кафедри телекомунікаційних технологій та автоматики, Державний економіко-технологічний університет транспорту, Київ, Україна.

МУДРИК В.В. – студент кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

МАТЕЙЧУК М.С. – магістрант кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

МОРФІЯНЕЦЬ О.О. – магістрант кафедри комп'ютерних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна.

Якщо подати елементи ДФ a_{ij}^0 як елементи матриці $\mathbf{A}^0$ (початкового двовимірного РЗ) вигляду

$$\mathbf{A}^0 = \begin{bmatrix} a_{11}^0 & \dots & a_{1n}^0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1}^0 & \dots & a_{in}^0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1}^0 & \dots & a_{mn}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1^0 \\ \vdots \\ A_i^0 \\ \vdots \\ A_m^0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

рядки якої складають елементи відповідних ДФ $g_i(Z)$ (1), то подальші дії над елементами матриці $\mathbf{A}^0$ (4) з обробленням за РЗ мають такий вигляд [11-14].

1. Визначається для кожного j -го стовпця A_j^{t-1} прямокутної матриці $\mathbf{A}^{t-1}$ розмірністю $m \times n$, де $t = \overline{1, N}$, метрика – міра схожості у вигляді

$$q_j^{t-1} = \min_i A_j^{t-1} = \min_i a_{ij}^{t-1}, \quad i = \overline{1, m} \quad (5)$$

В результаті для матриці $\mathbf{A}^{t-1}$ маємо векторну метрику вигляду

$$\mathbf{q}^{t-1} = (q_1^{t-1}, \dots, q_n^{t-1}). \quad (6)$$

2. Здійснюється корегування елементів всіх стовпців матриці $\mathbf{A}^{t-1}$:

$$\bar{a}_{ij}^t = a_{ij}^{t-1} - q_j^{t-1}, \quad (7)$$

тобто формується матричний (двовимірний) РЗ $\bar{\mathbf{A}}^t = \{\bar{a}_{ij}^t\}$.

3. Перевіряються умови для всіх рядків матриці $\bar{\mathbf{A}}^t$ у вигляді:

$$\exists \bar{A}_i^t = 0, \quad t = \overline{1, N} \quad (8)$$

$$\forall \bar{A}_i^t = 0. \quad (9)$$

У першому випадку, тобто при виконанні умови (8), залишається нульовим відповідний елемент p_i вектора класифікації P , тобто:

$$p_i = 0 \quad (10)$$

і в подальшому цей нульовий рядок $\bar{A}_i^t$ з оброблення вилучається. Перехід до п.4.

У другому випадку при виконанні умови (9) для останнього нульового рядка $\bar{A}_l^N$ матриці $\bar{\mathbf{A}}^N$ формується відповідний одиничний елемент p_l вектора класифікації P , тобто

$$p_l = 1, \quad l = \overline{1, m}. \quad (11)$$

Перехід до п. 5.

4. Виконується впорядкування матриці $\bar{\mathbf{A}}^t$ в процесі просування (транспозиції) праворуч до краю нульових елементів $\bar{a}_{ij}^t$ у всіх рядках $\bar{A}_i^t$ і формування впорядкованого двовимірного РЗ $\mathbf{A}^t$ у вигляді

$$\mathbf{A}^t = TrR(\bar{\mathbf{A}}^t). \quad (12)$$

Перехід до п. 1.

5. Процес завершено.

При дослідженні процесу класифікації сигналів з обробленням елементів ДФ за методом РЗ труднощі викликає задача визначення часових характеристик цього процесу через те, що застосування

методу РЗ надає адаптивного характеру процесу оброблення як одновимірних, так і двовимірних масивів даних [15-17].

Отже, метою даної роботи є визначення математичних залежностей часових показників від розмірності двовимірних масивів даних з врахуванням особливостей оброблення елементів матриць за РЗ.

ЧАСОВІ ЗАЛЕЖНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ЗА РІЗНИЦЕВИМИ ЗРІЗАМИ ЕЛЕМЕНТІВ МАТРИЦЬ

Для оброблення двовимірних масивів розмірністю $m \times n$ за РЗ середній час (кількість циклів) можна визначати в процесі імітаційного моделювання [14]. При цьому мінімальна кількість циклів $N_{\min}$ складе

$$N_{\min} = m, \quad (13)$$

виходячи з того, що в кожному циклі буде обнулятися один рядок поточної матриці A^t .

Складності виникають при визначенні максимального часового показника (максимальної кількості циклів $N_{\max}$), оскільки він залежить від співвідношення величин m і n матриці A^0 , що доведено результатами імітаційного моделювання [14]. Разом з тим, саму залежність $N_{\max}$ від величин m і n в процесі імітаційного моделювання визначити складно. Для цього було виконано математичне моделювання, при якому матриці подавались в абстрактному вигляді, коли їх елементам не надавались конкретні числові значення, а розглядались варіанти поступового обнуління рядків матриць (їх відсортування). При цьому було розглянуто три можливих варіанти розмірності матриці A^0 : $m = n$, $m < n$, $m > n$.

На рис. 1 наведено приклад оброблення елементів матриці A^0 розмірністю $m \times n = 2 \times 3$ за РЗ з визначенням максимального рядка A_i^0 за сумою його елементів a_{ij}^0 . Для спрощення нижче кожної поточної матриці A^{t-1} ($t = \overline{1, N}$) у кожному t -му циклі показано вектор Min^{t-1} , що складається з мінімальних елементів (6) у кожному j -му стовпці ($j = \overline{1, n}$) поточної матриці. Крім того, на рис. 1 праворуч кожного рядка матричних перетворень, які складають цикл, показано номер цього циклу. Таким чином, для наведеного прикладу кількість циклів складає $N = 3$.

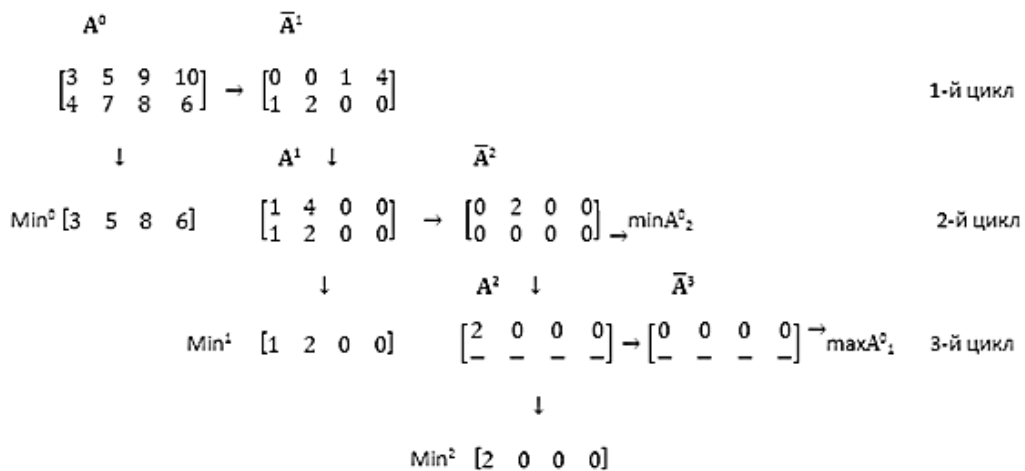


Рис. 1. Приклад оброблення елементів матриці A^0 розмірністю $m \times n = 2 \times 3$ за РЗ

На рис.2-4 наведено найбільш наочні з усіх можливих прикладів відсортування рядків матриць за зростанням суми їх елементів з відповідним співвідношенням розмірів $m \times n$ матриць: 4×4 , 3×4 , 5×4 . Наведені приклади демонструють максимальну кількість циклів процесу поступового обнуління рядків матриці (показано зверху над кожною поточною матрицею). На рис. 2-4 ненульові елементи матриці подано символом "х", нульові символом "-", а кожний ряд перетворень матриці відповідної розмірності відповідає процесу обнуління одного рядка цієї матриці. Тому кожний наступний ряд матричних перетворень починається з матриці меншої розмірності, що утворена в останньому циклі (показано пунктирною дужкою).

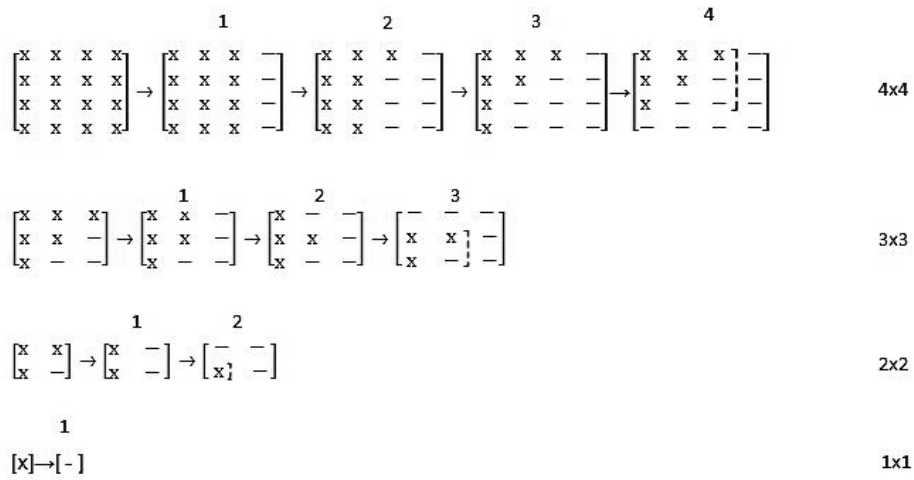


Рис. 2. Приклад оброблення матриці розмірністю 4x4 за РЗ

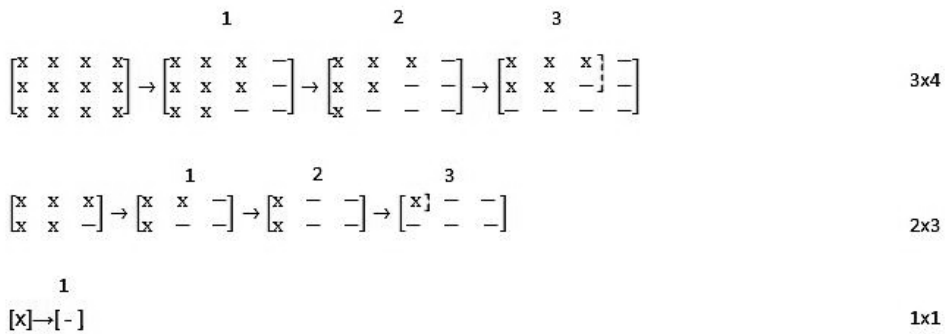


Рис.3. Приклад оброблення матриці розмірністю 3x4 за РЗ

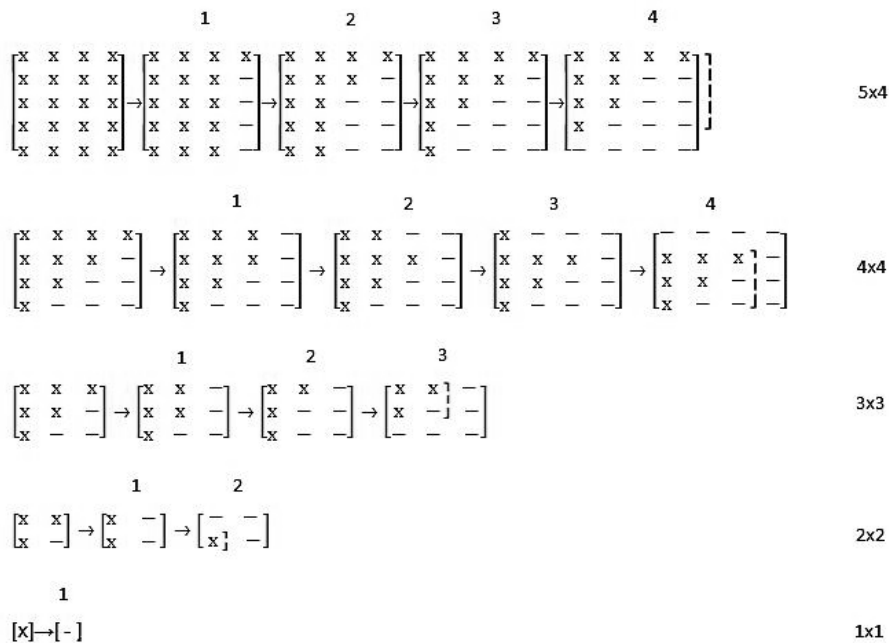


Рис.4. Приклад оброблення матриці розмірністю 5x4 за РЗ

Так для наведеної на рис. 2 матриці розмірністю $m \times n = 4 \times 4$ максимальна кількість циклів для обнуління всіх її рядків складає 10 циклів, для матриці розмірністю $m \times n = 3 \times 4$ на рис. 3 складає 7 циклів, а для матриці розмірністю $m \times n = 5 \times 4$ на рис. 4 – 14 циклів. Дослідження таким чином значної кількості прикладів двовимірного оброблення матриць за РЗ дозволяє вивести відповідні математичні залежності в

результаті використання регресійного аналізу [18].

РЕЗУЛЬТАТИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Прийmemo, що залежність максимальної кількості циклів $N_{\max}$ від розмірності $m \times n$ масиву чисел має вигляд лінійної регресії [18]:

$$y = f(x) = a_0 + a_1 x, \quad (14)$$

де в якості аргументу x будемо розглядати величину $(m \times n)$.

Задача регресійного аналізу полягає у відновленні функціональної залежності $y(x)$ по результатах вимірів (x_i, y_i) , де $i = 1 \dots k$, де k – кількість експериментів, тобто знаходження у даному випадку параметрів a_0, a_1 з виразу (14). Одним з відомих методів обчислення коефіцієнтів лінійної регресії є метод найменших квадратів, для чого у середовищі математичного пакету MathCad 2000 передбачено використання відповідних функцій `intercept(x,y)` та `slope(x,y)` [18]. На рис. 5а наведено фрагмент робочого документу MathCad, який містить таблицю експериментальних даних (G) та результати обчислення коефіцієнтів лінійної регресії a_0, a_1 , а на рис. 5б показано графік, що відображає залежність $y = f(x)$ для наведених даних G .

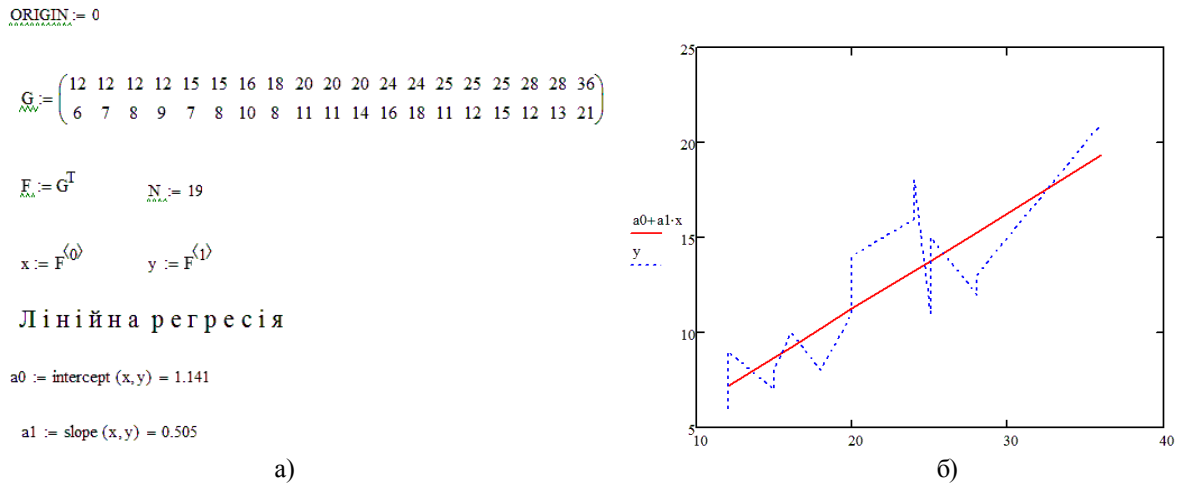


Рис. 5. Фрагмент робочого документу MathCad для обчислення параметрів a_0 і a_1 (а) та графік для експериментальних даних G (б)

Отже, по результатах моделювання можна записати таке співвідношення:

$$N_{\max} = \frac{mn}{2} + 1, \quad (15)$$

або у загальному вигляді

$$N_{\max} = O\left(\frac{mn}{2}\right). \quad (16)$$

Тому в розрахунках часових параметрів двовимірного оброблення за РЗ для їх максимальних і мінімальних значень можна використовувати співвідношення відповідно (16) і (13).

ВИСНОВКИ

1. Уникнення необхідності накопичення суми добутків з подальшим вибором максимальної серед них є основною перевагою використання методу РЗ над класичним методом класифікації на базі ДФ, оскільки метод РЗ в цьому випадку використовує такі нескладні операції, як визначення мінімального ненульового елемента у векторних масивах (стовпцях матриці), віднімання та транспозиція (просування з обміном) нульових елементів у рядках матриці.

2. Часові характеристики процесу оброблення за РЗ елементів двовимірної матриці, визначені в процесі регресійного аналізу, залежать у значній мірі від розмірності двовимірного масиву даних у співвідношенні $O\left(\frac{mn}{2}\right)$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Воеводин В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 608 с. – ISBN 5-94157-160-7.
2. Царев А.П. Алгоритмические модели и структуры высокопроизводительных процессоров цифровой обработки сигналов / А.П. Царев. – Szczecin, Informa, 2000. – 237 с. – ISBN 83-87362-34-4.
3. Гергель В.П. Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем: учеб. пособие / В.П. Гергель, Р.Г. Стронгин. – Нижний Новгород: Изд-во ННГУ им. Н. Лобачевского, 2003. – 184 с.
4. Мартинюк Т.Б. Оцінювання структурно-інформаційної складності паралельних алгоритмів додавання / Т.Б. Мартинюк, Н.І. Заболотна, В.В. Шолота // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 1996. – № 4. – С.21-26. – ISSN 1997-9266.
5. Ермаков С.М. Статистическое моделирование / С.М. Ермаков, Г.А. Михайлов. – М.: Наука, 1982. – 296 с.
6. Ситник В.Ф. Імітаційне моделювання: навч. посібник / В.Ф. Ситник, В.С. Орленко. – К.: КНЕУ, 1998. – 232 с. – ISBN 966-574-021-0.
7. Дискриминантный анализ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stdiscan.html>.
8. Дискриминантные функции для классификации многомерных объектов [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://masters.donntu.edu.ua/2005/kita/kapystina/library/disc-an2.htm>.
9. Бернюков А.К. Распознавание биоэлектрических сигналов / А.К. Бернюков, Л.Т. Сушкова // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. – № 12. – С. 47-51. – ISSN 0373-2428.
10. Юнкеров В.И. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований / В.И. Юнкеров, С. Г. Григорьев. – СПб.: ВМедА, 2002. – 266 с. – ISBN 5-94277-011-05.
11. Мартинюк Т.Б. Классификатор биомедицинских сигналов / Т.Б. Мартинюк, А.Г. Буда, В.В. Хом'юк, А.В. Кожемяко, Л.М. Куперштейн // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 88-95. – ISSN 1561-5359.
12. Мартинюк Т.Б. Новый подход к обработке дискриминантных функций в классификаторе биомедицинских сигналов / Т.Б. Мартинюк, Л.М. Куперштейн, А.Г. Буда, А.В. Кожемяко, В.В. Хом'юк // Нейроинформатика-2013: XV Всерос. науч.-техн. конф., 21-25 января 2013 г.: сб. науч. тр. Ч. 1. – М.: НИЯУ МИФИ, 2013. – С. 92-98. – ISBN 978-5-7262-1773-4.
13. Martyniuk, T. B. Applications of discriminant analysis methods in medical diagnostics / T. B. Martyniuk, L. M. Kupershtein, A. V. Medvid, A. V. Kozhemiako, W. Wojcik, O. Yuchshenko // Optical Fibers and Their Applications 2012. Proceedings of the SPIE, Volume 8698, article id. 86980G, 4 pp. (2013). DOI: 10.1117/12.2019733
14. Мартинюк Т.Б. Моделювання процесу класифікації з обробленням даних за методом різницевого зрізів / Т.Б. Мартинюк, М.В. Дзісь, А.В. Медвідь // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 4. – С. 144-150. – ISSN 1997-9266.
15. Мартинюк Т.Б. Рекурсивні алгоритми багатооперандної обробки інформації / Т.Б. Мартинюк. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 216 с. – ISBN 966-7199-98-3.
16. Мартинюк Т.Б. Аналіз моделей паралельного підсумовування елементів числового масиву / Т.Б. Мартинюк, В.В. Хом'юк, Л.М. Куперштейн, Є.С. Матвеев // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 6. – С. 65-70. – ISSN 1997-9266.
17. Мартинюк Т.Б. Оцінювання ефективності алгоритмів мультиобробки масивів даних / Т.Б. Мартинюк, В.В. Хом'юк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 5. – С. 76-82. – ISSN 1997-9266.
18. Плис А.И. Mathcad 2000. Математический практикум для экономистов и инженеров: учеб. пособие / А.И. Плис, Н.А. Сливина. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 656 с. – ISBN 5-279-02281-0.

Надійшла до редакції 10.12.2013р.

МАРТИНЮК ТЕТЯНА БОРИСІВНА – к.т.н., професор кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

КОЖЕМ'ЯКО АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ – к.т.н., доцент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

МЕЛЬНИК АЛІНА ВАДИМІВНА – магістр кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

УДК 535.394

З.Ю. ГОТРА¹, Л.Ю. ВОЗНЯК¹, М.В. ВІСЬТАК²

СВІТЛОВИПРОМІНЮЮЧІ ДІОДИ СИНЬОГО КОЛЬОРУ НА ОСНОВІ НАНОРОЗМІРНИХ ШАРІВ ФТАЛОЦІАНІНУ НІКЕЛЮ

¹Львівська політехніка

79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна,

E-mail: hotra@polynet.lviv.ua, tel: +38-032-2582162

²Львівський національний медичний університет ім. Д.Галицького,

79010, вул. Пекарська, 69, Львів, Україна

Анотация: В роботі досліджувався вплив дірково-транспортного шару фталоціаніну нікеля (NiPc) на покращення світловипромінюючих параметрів органічного світлодіода (OLED) на основі похідного піразоліну HPhP. З цією метою було проведено порівняння вольт-амперних та яскравісних характеристик структур ІТО/HPhP/Ca/Al та ІТО/NiPc/HPhP/Ca/Al. Показано, що введення дірково-транспортного шару NiPc приводить до збільшення яскравості світіння. Розроблені структури OLED може бути використана в біомедицині як ергономічні джерела світла синього кольору.

Анотация: В работе исследовалось влияние дырочной-транспортного слоя фталоцианина никеля (NiPc) на улучшение светоизлучающих параметров органического светодиода (OLED) на основе производного пиразолина HPhP. С этой целью было проведено сравнение ВАХ и яркостных характеристик структур ИТО/HPhP/Ca/Al и ИТО/NiPc/HPhP/Ca/Al. Показано, что введение дырочной-транспортного слоя NiPc приводит к увеличению яркости свечения. Разработанные структуры OLED могут быть использованы в биомедицине как эргономичные источники света синего цвета.

Abstract: The influence of the hole transport layer nickel phthalocyanine (NiPc) on the organic light-emitting diodes (OLEDs) performance was shown. Current density – voltage and luminance – voltage characteristics of fabricated structures were compared. Fabricated OLED structures with blue emission can be used for biomedicine application as ergonomic blue light sources.

Keywords: OLED, фталоціанін нікелю, піразолін.

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку технологій органічних світловипромінюючих діодів (OLED) уможливорює їхнє ефективне застосування в біології та медицині. Використання синіх OLED і люмінесцентних молекул - "маркерів" в системах медичної діагностики є надзвичайно актуально з точки зору їхньої екологічної привабливості [1]. Слід зауважити, що в порівнянні із неорганічними світловипромінюючими діодами та люмінесцентними лампами вони мають ряд переваг, зокрема, можливість отримувати однорідне світіння будь-якої форми на великій площі, а також відсутністю екологічно небезпечних складових (таких як пара ртуті в люмінесцентних лампах та важких металів у неорганічних світлодіодах). Крім того, розвиток високоефективних органічних світлодіодів синього кольору привертає особливу увагу, оскільки їхні характеристики на сьогодні поступаються аналогам зеленого та червоного кольорів [2]. Тому розроблення та підвищення ефективності органічних світлодіодів зі спектром випромінювання в синій області є актуальною задачею.

В цьому контексті, використання похідних піразоліну (HPhP) (рис.1) у технології створення OLED є перспективним, оскільки вони мають хороші люмінесцентні та електрофізичні властивості, а також високу стабільність.

В даній роботі розглядається можливість покращення світловипромінюючих параметрів шляхом введення в конструкцію OLED дірково-транспортного шару [3] фталоціаніну нікелю (NiPc) (рис.1), оскільки серед різноманітності органічних напівпровідникових сполук NiPc характеризується найвищою дірковою рухливістю ($\sim 1 \times 10^{-5} \text{ м}^2/\text{В} \times \text{с}$) в порівнянні з іншими фталоціанінами металів, а також є хімічно інертний та термостійкий [4], що робить його привабливим для формування плівок з застосуванням термічного нанесення.

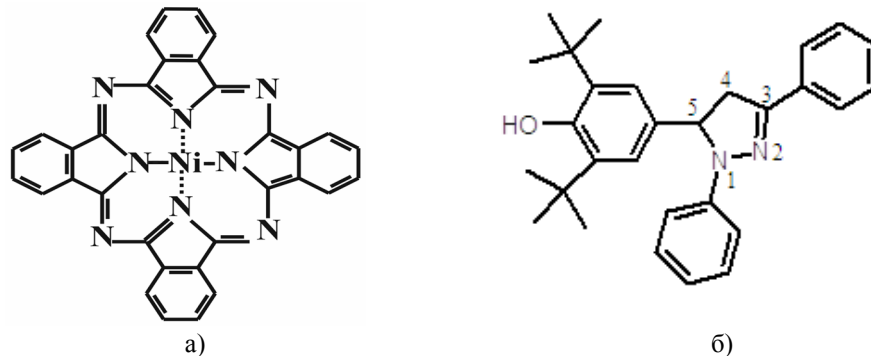


Рис. 1. Хімічні формули фталоціаніну нікелю (а) і похідної піразоліну HPhP (б)

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

Світловипромінювальні структури ITO/HPhP/Ca/Al та ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al (рис.2) виготовлялася методом вакуумного нанесення в одному технологічному циклі в наступній послідовності: на скляній підкладці з електропровідним оптично прозорим покриттям ITO у вакуумі $< 10^{-3}$ Па пошарово створювали плівки NiPc (7 нм), HPhP (30 нм), та кальцієво-алюмінієвий електрод (200 нм).

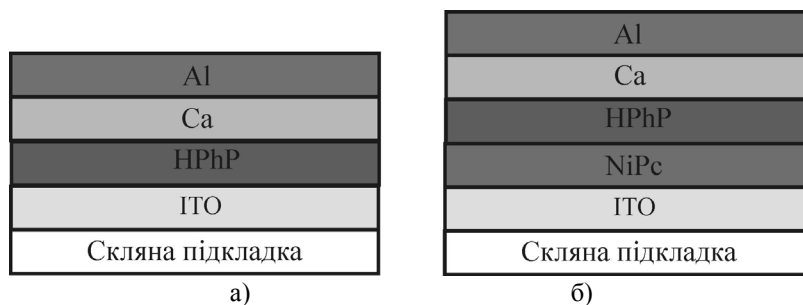


Рис. 2. Схематичне зображення OLED систем ITO/HPhP/Ca/Al (а) та ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al (б)

Вольт-амперні та яскравісні характеристики розроблених структур досліджувались за допомогою Programmable Test Power LED300E. В процесі вимірювання яскравості структур знімали інтенсивність випромінювання структури за допомогою каліброваного фотодіода в інтегрованій сфері (діаметром 25 см), після чого порівнювали отриману інтенсивність з інтенсивністю близькою за параметрами зразкового джерела світла.

Спектри електролюмінесценції розроблених структур досліджувались за допомогою спектрометра НААС-2000 та інтегруючої сфери ($d=0,3 \text{ м}$). Для структур на основі HPhP як світловипромінювального шару характерним є електролюмінесценція синього кольору з максимумом спектра випромінювання 445 нм.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Вплив дірково-інжекційного шару NiPc на світловипромінювальні параметри був досліджений на основі порівнянь вольт-амперних та яскравісних характеристик структур ITO/HPhP/Ca/Al та ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al.

Згідно аналізу енергетичної діаграми світловипромінювальної структури ITO/HPhP/Ca/Al (рис. 3), енергетичний бар'єр між ITO та HPhP становить 1 еВ, який утруднює інжекцію дірок в світловипромінювальний шар. Введення транспортного шару NiPc понижує енергетичний потенціальний бар'єр для дірок [5], що і забезпечує збільшення концентрації інжекттованих дірок у світловипромінювальний шар HPhP. Крім того, діркова рухливість NiPc сприятиме балансуванню діркового та електронного струмів в структурі.

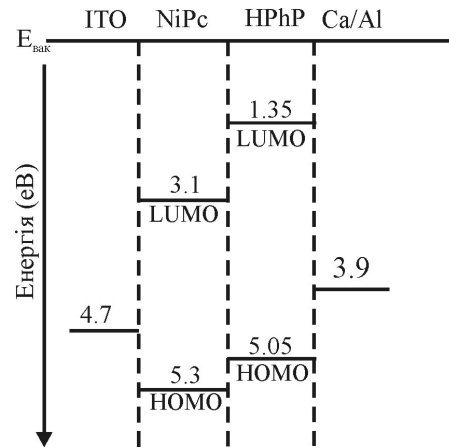
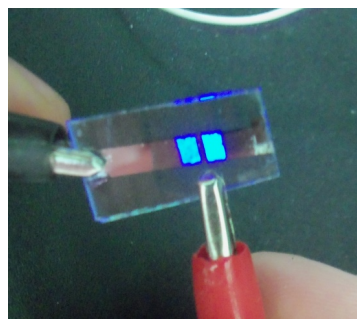
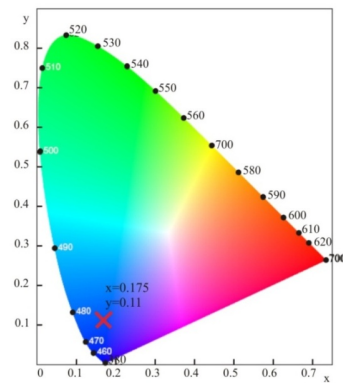


Рис. 3. Енергетична діаграма світловипромінювальної структури ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al



а)



б)

Рис. 4. Світлина світловипромінювальної структури ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al (а) та її колірна діаграма CIE (б)

Для розробленої світловипромінювальної структури отримані значення кольорових координат $x=0,175$, $y=0,11$ та кольорова температура $T_c > 10000\text{K}$, які відповідають синьому кольору свічення (рис. 4).

Вольт-амперні характеристики світловипромінювальних структур ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al та ITO/HPhP/Ca/Al наведено на рис.5. Введення транспортного шару NiPc у органічну світловипромінювальну структуру приводить до зменшення порогової напруги свічення з 7,5 до 6,2 В (рис.5) за рахунок пониження потенціального бар'єру для дірок [5, 6].

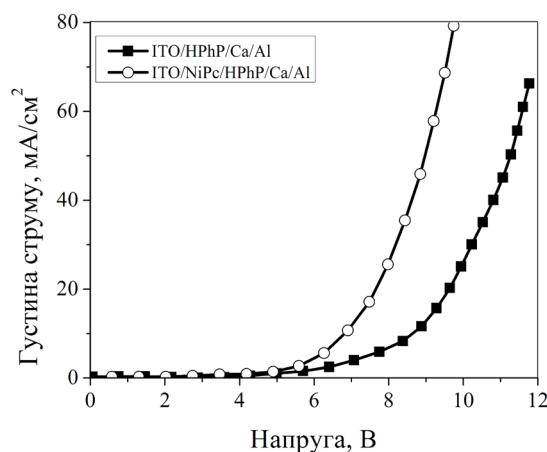


Рис.5. Вольт-амперна характеристика світловипромінювальних структур ITO/HPhP/Ca/Al та ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al

Порівняльний аналіз вольт-амперних характеристик структур ITO/HPhP/PEGDE/Al та ITO/NiPc/HPhP/PEGDE/Al (рис.5) показав, що наявність транспортного шару NiPc призводить до зменшення степеневого показника залежності струму від напруги при вищих значеннях напруги від 5.3 до 4.9. Це, згідно з [7], ймовірно відбувається за рахунок перерозподілу просторового заряду в структурі,

та пониження потенціального бар'єра для дірок, які інжектуються в шар HPhP. До того ж концентрація пасткових центрів на межі розділу NiPc/HPhP є меншою від концентрації на межі ITO/HPhP.

Яскравісні характеристики досліджуваних структур наведені на рис.6. Наявність транспортного шару NiPc підвищує яскравість від 380 кд/м² до 850 кд/м², при напрузі 10 В, що частково можна пояснити покращенням збалансованості концентрацій інжектованих носіїв заряду (дірок та електронів) в світловипромінювальному шарі HPhP [5].

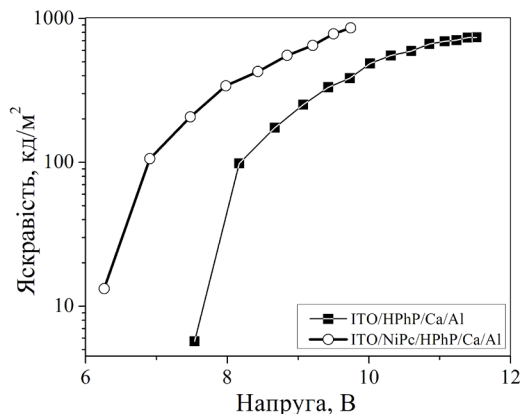


Рис. 6. Яскравісна характеристика структур ITO/HPhP/Ca/Al та ITO/NiPc/HPhP/Ca/Al

ВИСНОВКИ

Отже на основі проведених експериментальних досліджень можна зробити висновок що модифікування світловипромінювальної структури ITO/HPhP/Ca/Al нанорозмірною плівкою NiPc сприяє балансуванню носіїв заряду (дірок та електронів) у світловипромінювальному шарі, HPhP що покращує його максимальну люмінесцентну яскравість з 380 кд/м² до 850 кд/м² при напрузі 10 В. Отримані значення яскравості розробленого OLED є конкурентноздатними з точки зору їхнього використання в біомедицині, як ергономічних джерел світла синього кольору.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Biomaterials-based electronics: polymers and interfaces for biology and medicine /M. Muskovich, C.J. Bettinger //Advanced healthcare materials.-2012- vol.1. – P. 248–266.
2. Organic small molecule materials for organic light-emitting diodes / N. Herron // Organic Light-Emitting Materials and Devices. – CRC Press. – 2007.
3. Improved performance of organic light-emitting diodes using advanced hole-transporting materials / S.-H. Hwang // Synthetic Metals. – 2009. – vol. 159. – P. 2578–2583.
4. Improved performance of organic light-emitting diodes using a metal-phthalocyanine hole-injection layer / P.-C. Kao // Journal of The Electrochemical Society. – 2006. - vol 153. – P. H122-H126.
5. Органічні напівпровідникові структури OLED на основі Alq₃ з транспортним шаром NiPc / З.Ю. Готра, Д. Ю. Волинюк, Л.Ю. Возняк, Костів Н.В. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Електроніка. – 2010. – № 681. – С.108-112.
6. Пат. на корисну модель № 58198 МПК (2011) H01L 33/26. Спосіб виготовлення світлодіоду на основі органічного напівпровідникового матеріалу // Автори: Готра З.Ю., Стахіра П.Й., Черпак В.В., Волинюк Д.Ю., Возняк Л.Ю., Костів Н.В. Номер заявки u 2010 09621, заяв. 02.08.2010, опубл. 11.04.2011, Бюл.№7
7. Koch N. Organic electronic devices and their functional interfaces / N. Koch // A European Journal of Chemical Physics and Physical Chemistry. – 2007. – vol. 8. – P. 1438 – 1455.

Надійшла до редакції 10.11.2013р.

ГОТРА ЗЕНОН ЮРІЙОВИЧ – д.т.н., професор, завідувач кафедри електронних пристроїв Національного університету "Львівська політехніка", Львів, Україна.

ВІСЬТАК МАРІЯ ВОЛОДИМИРІВНА – к.ф.-м.н., доцент кафедри біофізики Львівського національного медичного університету ім. Д.Галицького, Львів, Україна.

ВОЗНЯК ЛЕСЯ ЮРІЇВНА – к.т.н., асистент кафедри електронних приладів Національного університету "Львівська політехніка", Львів, Україна.

УДК 621.396.66

А.В. КЛЕПІКОВСЬКИЙ¹, В. Р. ЛЮБЧИК²

ОЦІНКА ВІБРОСТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ АНАЛОГІЙ

¹Буковинський державний медичний університет,
м. Чернівці, Театральна площа, 2,
andrei.klepikovskiy@gmail.com

²Хмельницький національний університет
м. Хмельницький, вул. Інститутська 11

Анотація. Розглянуто методику оцінки власних частот коливань радіоелектронних систем з декількома ступенями свободи за допомогою методу електродинамічних аналогій.

Ключові слова: власні, резонансні частоти коливань, електродинамічні аналогії, радіоелектронні системи.

Аннотация. Рассмотрена методика оценки собственных частот колебаний радиоэлектронных систем с несколькими степенями свободы с помощью метода электродинамических аналогий.

Ключевые слова: собственные, резонансные частоты, электродинамические аналогии, радиоэлектронные системы.

Abstract. The method of evaluation of natural frequencies of oscillations of radio systems with multiple degrees of freedom using the method of electrodynamic analogies.

Keywords: frequencies of vibration, electrodynamic analogy, radio-electronic systems.

ВСТУП

Забезпечення надійної роботи радіоелектронної апаратури продовжує залишатися однією з актуальних задач, що стоять перед розробниками нової техніки. Розширення сфер та галузей застосування радіоелектронних виробів, яке охоплює все більшу кількість напрямів її використання, різке збільшення задач, які можуть вирішуватися сучасними радіоелектронними приладами, висуває нові підвищені вимоги до проєктантів та виробників нової техніки.

Оцінка експлуатаційних параметрів сучасних зразків радіоелектронної апаратури висуває необхідність розробки нових розрахункових математичних моделей оцінки якості майбутніх зразків, а також – модернізованих та вдосконалених виробів, сфера використання яких розширюється, а вимоги до оцінки експлуатаційних параметрів стають жорсткішими.

Розв'язання таких задач в багатьох випадках можливо одночасно декількома методами, проте – задачею сучасних розробників та проєктантів є пошук та вибір найбільш ефективних та доцільних методів, які з високою достовірністю та з мінімальним часом на процес проєктування дозволять отримати необхідні результати.

Сучасні радіоелектронні вироби експлуатуються не тільки на стаціонарних установках, а також входять до складу рухомих вимірювальних комплексів різноманітного призначення. Це – авіаційні та космічні носії, наземні пересувні комплекси та лабораторії, надводна та підводна техніка.

Робота апаратури в таких умовах нерозривно пов'язана із впливом вібрацій на елементи радіоелектронних вузлів та систем, які створюються двигунами носія, є слідством роботи багатьох вузлів та систем різного призначення, що входять до складу всього комплексу.

Оцінка величини власних частот коливань радіоелектронних вузлів апаратури є обов'язковою умовою забезпечення її надійної роботи, оскільки співпадіння власних частот коливань вузлів апаратури із збуджуючими частотами носія може привести до явища резонансу і, як наслідок, руйнуванню вузлів, виходу з ладу всього дорогого та важливого технічного комплексу.

В механіці досить відомий та широко використовується метод електродинамічних аналогій (ЕДА), застосування якого в багатьох випадках є доцільнішим за використання традиційних механічних методів, наприклад, рівняння Лагранжа II роду. Використання методу ЕДА пов'язано з меншими

математичними труднощами, дозволяє досить ефективно та оперативно, з'єднуючи певну кількість опорів, індуктивностей та ємностей в загальне електричне коло отримати імітаційну модель механічної системи [1].

В роботі наведена методика оцінки власних частот коливань в радіоелектронних системах, які структурно приводяться до етажеркової схеми побудови (термоелектричні охолоджувачі, які працюють на модулях Пельтьє, радіоелектронні плати, зібрані в пакети тощо) [2].

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Використовуючи загальне рівняння динаміки, після перетворення його до узагальнених координат, отримаємо рівняння коливального руху механічних систем з одним ступенем вільності

$$\alpha \ddot{q} + \beta \dot{q} + cq = Q(t),$$

де α – узагальнений коефіцієнт інерції (маса, осьовий момент інерції), якому відповідає індуктивність L ; β – узагальнений коефіцієнт розсіювання енергії (коефіцієнт демпфування), якому відповідає опір R , де електрична енергія аналогічно механічній перетворюється на теплову; c – узагальнена жорсткість механічної системи, якій відповідає інверсна (обернена) ємність конденсатора $\frac{1}{C}$; $Q(t)$ – узагальнена сила механічної системи, якій відповідає електрорушійна сила $e(t)$ джерела напруги; q – сила струму в контурі.

Схематично система з одним ступенем вільності та її електричний аналог наведені на рис. 1.

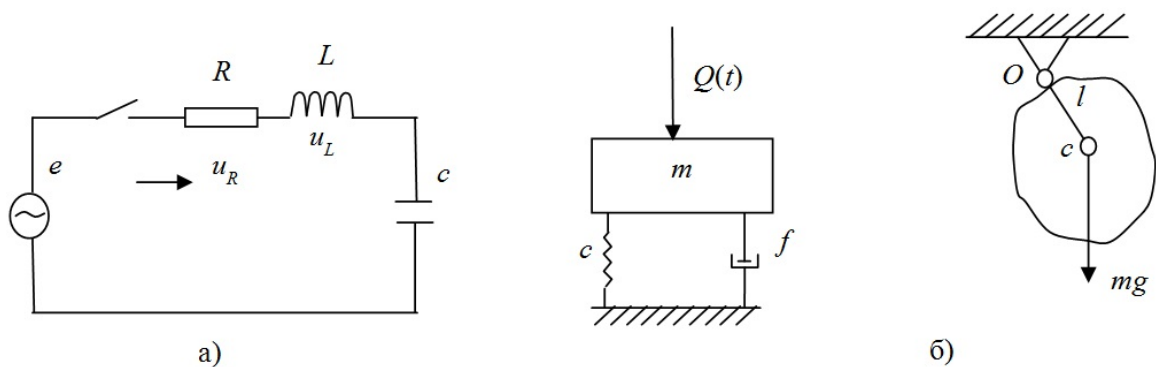


Рис. 1. Загальний вигляд електричного коливального контуру із послідовним з'єднанням елементів (а) і коливального контуру механічних систем з одним ступенем вільності (б)

На рис. 2 наведено загальний вигляд електричного коливального контуру з паралельним з'єднанням елементів.

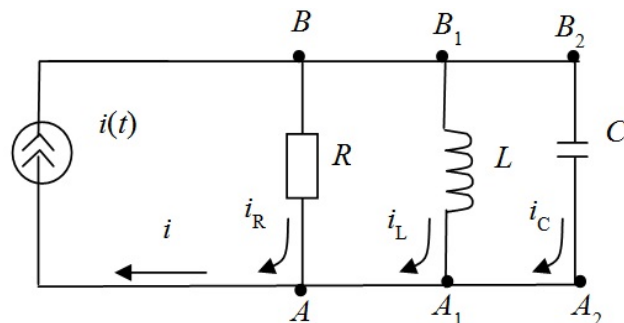


Рис. 2. Загальний вигляд електричного коливального контуру з паралельним з'єднанням елементів

В таблиці 1 містяться аналогові величини в електромеханічних системах з одним ступенем вільності.

Таблиця 1.

Аналогові величини в електромеханічних системах з одним ступенем вільності

Система	Узагальнена координата	Коефіцієнти диференціальних рівнянь			Кінетична енергія	Потенціальна енергія	Функція розсіювання	Узагальнена сила
Механічна	q	a	β	c	$T = \frac{1}{2} a \dot{q}^2$	$\Pi = \frac{1}{2} c q^2$	$\Phi = \frac{1}{2} \beta \dot{q}^2$	$Q(t)$
Аналогія „сила – напруга”	q^e	L	R	$\frac{1}{C}$	$T_1^e = \frac{L}{2} (\dot{q}^e)^2$	$\Pi_1^e = \frac{1}{2C} (q^e)^2$	$\Phi_1^e = \frac{R}{2} (\dot{q}^e)^2$	$e(t)$
Аналогія „сила – струм”	U	C	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{L}$	$T_2^e = \frac{C}{2} \dot{U}^2$	$\Pi_2^e = \frac{1}{2L} U^2$	$\Phi_2^e = \frac{1}{2R} \dot{U}^2$	$\frac{di}{dt}$

На рис. 3 наведено механічну (а) і електричну (б) схематизацію коливального контуру з одним ступенем вільності.

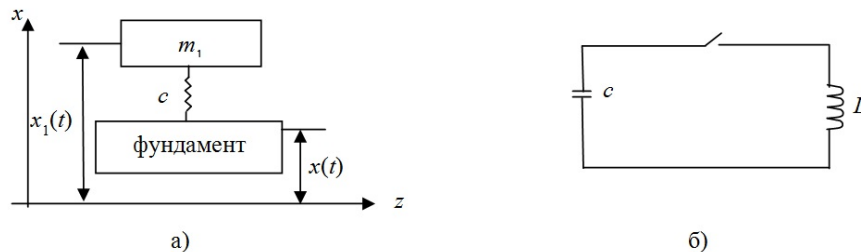


Рис. 3. (а) механічна схематизація однокаскадного ТЕО; (б) електрична схематизація коливного контуру

Аналогічним чином схематизовано та змодельовано 2-х, 3-х та 4-х каскадні системи, для яких проаналізовано вплив кількості каскадів (числа ступенів вільності), жорсткостей з'єднань між каскадами, маси самих каскадів на власну частоту коливань всієї системи [2].

Наприклад, механічна та електрична схематизація 4-х каскадного виробу наведені на рис. 4 (а) та 4 (б) відповідно.

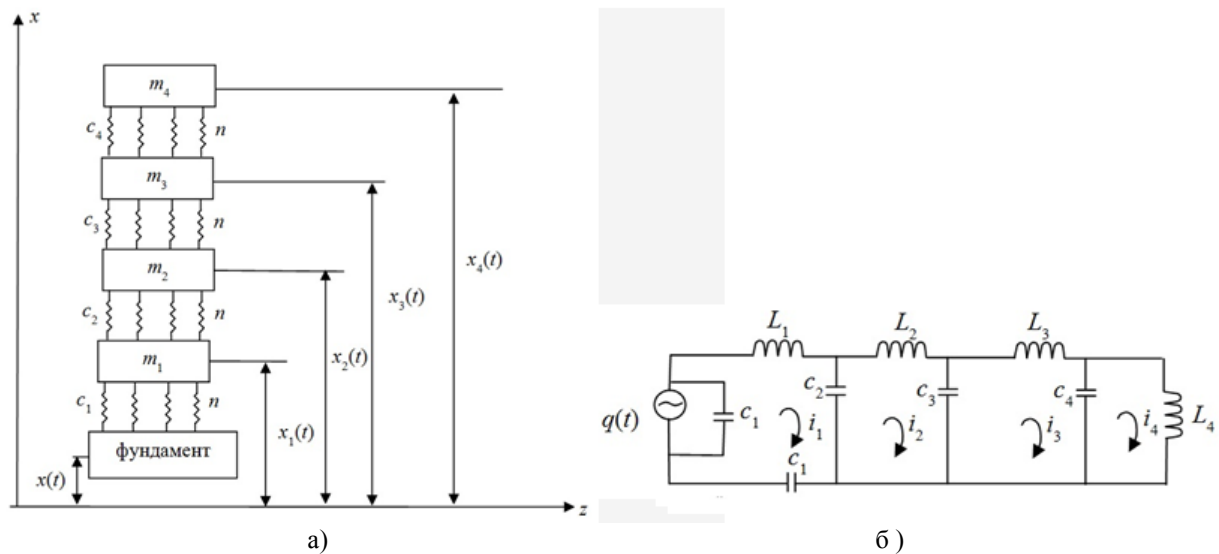


Рис. 4 Схематизація чотирьохкаскадного ТЕО: а) механічна; б) електрична

Математичне моделювання виробів з різним числом ступенів вільності, різною жорсткістю та масами дозволило запропонувати шляхи для конструктивного захисту виробів від вібраційних впливів, врахувати демпфування системи, що дає можливість підвищити експлуатаційну надійність виробів на

етапі проектування [2].

ВИСНОВКИ

1. Механічні явища у складних механічних системах можливо чітко змоделювати за допомогою електродинамічних аналогій. Математичний апарат в таких випадках набагато простіше для подальших практичних розрахунків порівняно із рівняннями Лагранжа II-го роду при механічному підході.

2. Математичний апарат моделювання механічних процесів за допомогою методу ЕДА зручніше піддається формалізації та програмуванню за допомогою сучасних алгоритмічних мов.

3. Систему оцінки вібростійкості складних механічних систем за допомогою методу ЕДА досить легко використати для визначення шляхів підвищення надійності роботи виробів з декількома ступенями свободи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Визначення власних частот коливань термоелектричних охолоджувачів та конструктивні шляхи підвищення їх віброзахисту / А.В. Клепиковський, Є.М. Тимофієва, Т.О. Царик, О.Г. Шайко-Шайковський: тези доп. VIII Міжнар. конф. "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2005)", (Вінниця, 24-28 жовтня 2005 р.). – 46 с.
2. Визначення власних частот коливань багатокаскадних термоелектричних охолоджувачів методом ЕГДА / А.В. Клепиковський, Є.М. Тимофієва, Т.О. Царик, О.Г. Шайко-Шайковський: тези доп. II Міжнар. наук.-пр. конф. "Сучасні наукові дослідження-2006)", (Дніпропетровськ, 20-28 лютого 2006 р.). – Т. 14. – С. 33-37.

Надійшла до редакції 11.12.2013р.

КЛЕПІКОВСЬКИЙ А.В. – к.т.н., асистент кафедри біологічної фізики та медичної інформатики, Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна.

ЛЮБЧИК В.Р. – к.т.н., доцент кафедри радіотехніки та зв'язку, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна.

УДК 671.327.1

Г. Л. ЛЫСЕНКО, С.Е. ТУЖАНСКИЙ, М. АЛЬРАВАШДЕХ

ФОТОННЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ФАЗОВО-СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ МАССИВОВ СС-VCSEL

*Винницкий национальный технический университет,
21021, г. Винница, ул. Хмельницкое шоссе 95, Украина
E-mail: lgl@vntu.edu.ua*

Аннотация. Исследована возможность создания фотонных логических элементов на основе пространственной интерференции мод в фазово-синхронизированных массивах лазеров с двумя вертикальными связанными оптическими резонаторами. Реализация предложенного подхода позволит создать фотонные логические элементы, не нуждающиеся в фотоэлектрических и электронно-оптических преобразованиях, которые смогут функционально заменить существующие аналоги электронных и оптоэлектронных логических схем.

Abstract. The article is an inquiry into a possibility of creating photonic logic elements on the basis of spatial mode interference in phase-synchronized laser arrays with two vertically coupled optical resonators. Implementation of the suggested approach will allow for creation of photonic logic elements that do not require photovoltaic and electron-optical transformations, which can completely replace the currently existing functional analogs of electronic and optoelectronic logical schemes.

Анотація. Досліджено можливість створення фотонних логічних елементів на основі просторової інтерференції мод у фазово-синхронізованих масивах лазерів із двома вертикальними зв'язаними оптичними резонаторами. Реалізація запропонованого підходу дозволить створити фотонні логічні елементи, які не потребують фотоелектричних і електронно-оптичних перетворень, що зможуть функціонально замінити існуючі аналоги електронних і оптоелектронних логічних схем.

Ключевые слова: лазер с вертикально связанными резонаторами, фотонный логический элемент, интерференция.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционные электронные технологии, на основе которых создаются современные кремниевые процессорные элементы, ввиду ряда принципиально неустранимых фундаментальных ограничений приблизились к теоретическому пределу своих возможностей. Сама физическая природа световых электромагнитных волн обуславливает очевидные преимущества оптической технологии для задач записи, передачи, обработки и хранения информации. Одной из актуальных задач в области построения оптических компьютеров и процессорных элементов является разработка фотонных логических элементов. Для создания трансфазоров, на основе которых формируются логические элементы, используются волноводные модуляторы и приборы со свойством оптической бистабильности (интерферометры на нелинейных материалах, SEED-устройства). Вместе с тем существующие в настоящее время оптоэлектронные логические элементы, как правило, используют фотоэлектронное и электронно-оптическое преобразования, полностью же фотонные логические элементы являются преимущественно пассивными и не способны генерировать оптическое излучение [1-5].

Одним из важных факторов стремительного развития информационных и сетевых технологий явилось создание компактных и легко управляемых полупроводниковых лазеров. В 1977 году японским ученым Кеничи Ига впервые была предложена конструкция лазера с вертикальным резонатором (*VCSEL* – vertical-cavity surface-emitting laser), на основе которой разработаны излучающие устройства с симметричной диаграммой направленности и низкими пороговыми токами, обеспечивающие одномодовый режим генерации продольных мод [1-2, 6-7]. Выпускаемые в настоящее время одночастотные *VCSEL* зачастую имеют небольшую для систем передачи мощность (до 2 мВт), а также трудности в управлении поляризацией излучения лазера [4-5]. Одним из перспективных решений

является усовершенствованная конструкция *VCSEL* с двумя вертикально связанными резонаторами (*CC-VCSEL* – coupled-cavity vertical surface-emitting laser), на основе которой реализованы режим одночастотной генерации с приемлемой для оптических систем передачи мощностью (до 6 мВт), режим двухчастотной генерации, а также получена возможность управления поляризацией и длиной волны излучения в процессе работы за счет малозначительного изменения соотношения токов накачки резонаторов [6-7]. На основе *CC-VCSEL* могут быть построены интегрированные фазово-синхронизированные массивы излучателей нового типа, ячейки которого способны выполнять функции фотонных логических элементов при пространственной интерференции *L*- и *S*- мод излучения без описанных выше недостатков.

ФОТОННЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ *CC-VCSEL*

Предложенный подход основывается на результатах, полученных при исследованиях лазеров с двумя синхронизированными вертикальными оптическими резонаторами в режиме одновременной генерации двух близких по частоте мод излучения. Характерными технологическими особенностями структур на основе *CC-VCSEL* являются возможность выращивания соединенных резонаторов с регулировкой величины связи между ними, а также возможность интегрального изготовления 2D массивов излучателей [5-8]. Такой массив способен генерировать фазово-согласованное когерентное излучение с управляемой поляризацией, что позволяет при соответствующей модуляции сформировать параллельный массив данных для последующих логических операций, например в составе оптического процессора.

Рассмотрим модель вертикально излучающего полупроводникового лазера на основе двойной гетероструктуры с двумя связанными вертикальными резонаторами, предложенную в работах [7-8]. Модифицируем структуру *CC-VCSEL*, добавив в нее внешний управляющий оптический канал для формирования режима передачи данных (рис.1). Структура состоит из двух полостей – верхней *n-p* и нижней *p-n*, к которым приложены соответствующие напряжения U_1 и U_2 от источников. Пунктиром в каждой из полостей на рис. 1 схематически показан *p-n* переход со встроенными квантовыми точками. Полости резонаторов ограничены распределенными брегговскими зеркалами (РБЗ) и разделены общим диэлектрическим зеркалом, коэффициент отражения которого контролируется в процессе выращивания структуры. Изменением свойств резонаторов формируют требуемые режимы и характеристики излучения *CC-VCSEL*. Характер влияния друг на друга создаваемых в каждом из резонаторов *CC-VCSEL* оптических полей зависит от коэффициентов усиления полостей, коэффициентов оптического ограничения мод и других факторов.

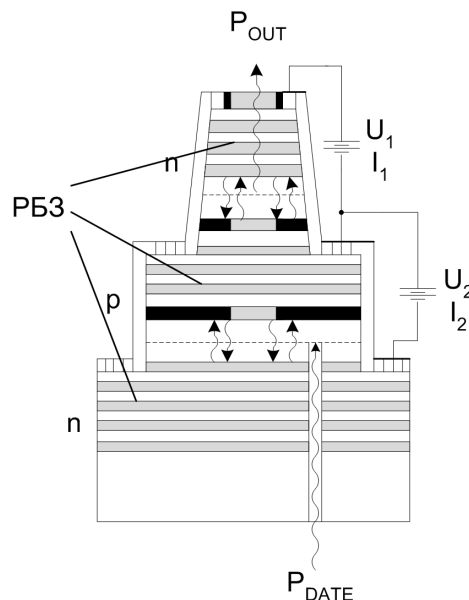


Рис. 1. Схема модифицированного *CC-VCSEL*

На основе предложенной структуры может быть сформирована элементарная фотонная логическая ячейка, принцип работы которой заключается в выделении части картины пространственной интерференции, вызываемой наложением двух мод излучения *CC-VCSEL* друг на друга (фрагмент

идеализированной интерференционной картины показан на рис. 2).

Рассмотрим интерференционное взаимодействие двух бихроматических источников (схема Юнга), для которых интенсивности каждого из вторичных источников одинаковы и поровну делятся по длинам волн $I_i(\Delta s) = I_0(1 + \cos(k_i \cdot \Delta s))$, где Δs – оптическая разница хода, $i = 1, 2$. При этом выполняется условие $\Delta\lambda = (\lambda_1 - \lambda_2) \ll \lambda_1, \lambda_2$.

В таком случае результирующая интенсивность интерференции волн выражается следующим образом [4]:

$$I_{\Sigma} = I_0 + I_0 \cdot \cos\left(\frac{\Delta k}{2} \cdot \Delta s\right) \cos(k \cdot \Delta s), \quad (1)$$

где $k = \frac{k_1 + k_2}{2}$, $\Delta k = \frac{k_1 - k_2}{2}$.

Формула (1) отличается от формулы для монохроматического источника наличием перед вторым слагаемым $\cos(k \cdot \Delta s)$ медленно изменяющегося множителя $\cos\left(\frac{\Delta k}{2} \cdot \Delta s\right)$, модуль значения которого определяет видность интерференционной картины $V(x) = \left| \cos\left(\frac{\Delta k}{2} \cdot \Delta s\right) \right|$.

Второе слагаемое в выражении (1) определяется характером интерференции и может быть как положительным, так и отрицательным. Наличие положительного интерференционного члена говорит о конструктивной интерференции (*CI* – constructive interference), отрицательного – о деструктивной интерференции (*DI* – destructive interference) [5].

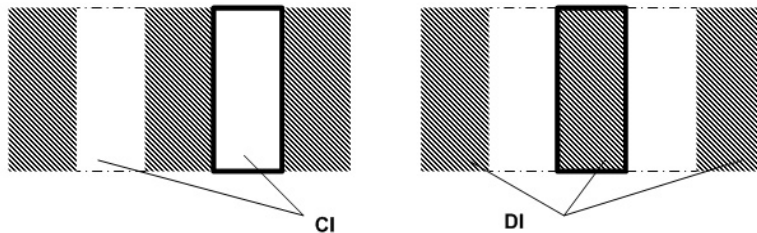


Рис. 2. Фрагмент интерференционной картины (светлые участки – *CI*, темные участки – *DI*)

Представим далее идеализированную систему с двумя монохроматическими источниками одинаковой интенсивности (тогда множитель $\cos\left(\frac{\Delta k}{2} \cdot \Delta s\right)$ в формуле 1 можно считать единицей).

Рассмотрим сначала интерференционную зону *CI*. В ее центре имеем разницу фаз мод $\phi_2 - \phi_1 = 0$ и соответственно, нулевую оптическую разность хода, поэтому $\cos(k\Delta s) = +1$. Обе моды лазера находятся в фазе, а результирующий луч имеет ту же фазу и интенсивность. Для этого случая

$$I_{CI} = 2I_0. \quad (2)$$

В центре интерференционной зоны *DI* имеем $\phi_2 - \phi_1 = 180^\circ$, и $\cos(\Delta s) = -1$. Поэтому обе моды *CC-VCSEL* находятся в противофазе, а результирующий луч принимает фазу наибольшей из них. Результирующая интенсивность в этом случае

$$I_{DI} = 0. \quad (3)$$

Таким образом, для формирования необходимого логического выходного сигнала в результате интерференции в зоне *CI* или *DI* используется дифракционная маска с отверстием требуемой формы (линия, круг) в месте максимальной видности интерференционной картины [5].

Следует отметить, что генерируемые в режиме одновременной генерации *CC-VCSEL* продольные *L* и *S* моды (*L* – мода с большей длиной волны, *S* – мода с меньшей длиной волны) можно считать квазимонохроматическими, так как расстояние $\Delta\lambda$ между ними малы, в частности для типовой структуры *GaAs/AlGaAs* расчетное значение разности длин волн мод составляет от 0,8 нм (при брегговской длине волны $\lambda_{бр}=940$ нм однако это требует наличия порядка 50 пар слоев среднего зеркала гетероструктуры) до 50 нм [10]. Но даже и в последнем случае видность интерференционной картины в центре СИ интерференционной картины является максимальной, хоть и не равной единице, размывание же максимумов и минимумов происходит постепенно по мере удаления от центра картины.

Так, для разницы длин волн $\Delta\lambda=50$ нм полное размывание произойдет при порядке интерференции $n = \frac{\lambda}{2\Delta\lambda} \approx 9$, а первый ноль видности обеспечивается при оптической разности хода

$$\Delta S = \frac{\lambda^2}{2\Delta\lambda} \approx 8,8 \text{ мкм} [9].$$

Таким образом, предложенная на рис. 1 структура может быть вполне применима для построения фотонных логических элементов, если обеспечить режим двухчастотной генерации с оптимальной разницей длин волн и управлением фазовым сдвигом между *L*- и *S*- модами *CC-VCSEL* с помощью внешнего управляющего оптического канала, что возможно осуществить при минимальных соотношениях пороговых значений токов накачки.

Для построения элементарных фотонных логических ячеек И и НЕ на основе модифицированного *CC-VCSEL* в режиме двухчастотной генерации предлагаются схемы, представленные на рис. 3 и рис. 4.

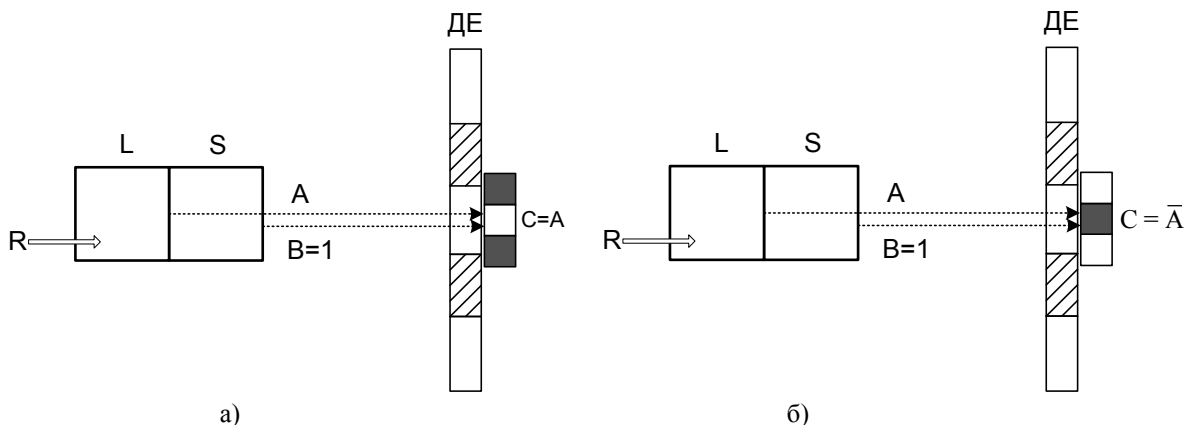


Рис. 3. Схема фотонных логических элементов И (а) и НЕ (б)

В случае конъюнктора (рис. 3, а) управляющий оптический вход схемы R может не использоваться, при этом результатом является СИ в центральной области видности (первого интерференционного максимума). Если считать излучение обеих мод считать монохроматическим и одинаковым по интенсивности (для логического нуля, например максимальное значение интенсивности мод $I_{LO}=I_{SO}=I_{пор}$, а для логической единицы $I_{L1}=I_{S1}=2I_{пор}$), то результирующим значением интенсивности выходного сигнала C будет $I_{CO} \leq 3I_{пор}$, а $3I_{пор} < I_{C1} \leq 4I_{пор}$.

Для инвертора (рис. 3, б) управляющий вход R обеспечивает фазовый сдвиг и оптическую разницу хода между *S* и *L* – модами, соответствующие нулевой (минимальной видности) результирующей интерференционной картины DI. При значении интенсивности *S*- моды меньше порога логической 1 ($A=0$).

Для получения дизъюнктора (рис. 4) можно использовать схему, которая похожа на И (рис. 3, а), однако результирующим значением интенсивности в области СИ выходного сигнала C для получения логического нуля или единицы необходимо считать другие значения интенсивностей: $I_{CO} \leq 2I_{пор}$ (лог. 0), а $2I_{пор} < I_{C1} \leq 4I_{пор}$ (лог. 1).

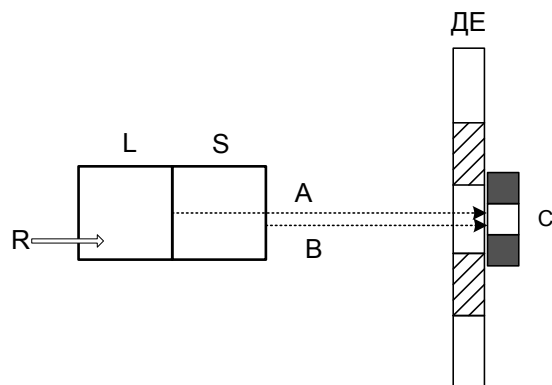


Рис. 4. Схема фотонного логического элемента ИЛИ

На базе таких элементарных логических элементов на модифицированных CC-VCSEL могут быть построены и другие элементы (И-НЕ, ИЛИ-НЕ и др.), которые необходимы для создания полноценного функционального базиса фотонных логических элементов.

Кроме того, интеграция соединенных резонаторов в пределах вертикальной структуры такого лазера открывает новые возможности из-за способности влиять на взаимодействие полей между резонаторами и возможности управления состоянием поляризации лазерного излучения [10]. Это позволит строить на их основе перспективные фотонные вычислительные модули, для переключения логических состояний элементов которых необходимы минимальные пороговые энергии.

На рис. 5 изображена обобщенная структура блока матрицы фотонного вычислительного элемента, одним из основных компонентов для формирования когерентного оптического излучения, реализующих в дальнейшем логические операции, является слой на основе массива предложенных выше модифицированных ячеек CC-VCSEL с оптическими управляющими каналами. Данный принцип может быть использован для построения интегральных фотонных логических элементов, которые позволят в перспективе создать матричные оптические процессоры и специализированные вычислительные устройства для параллельных оптических вычислений.

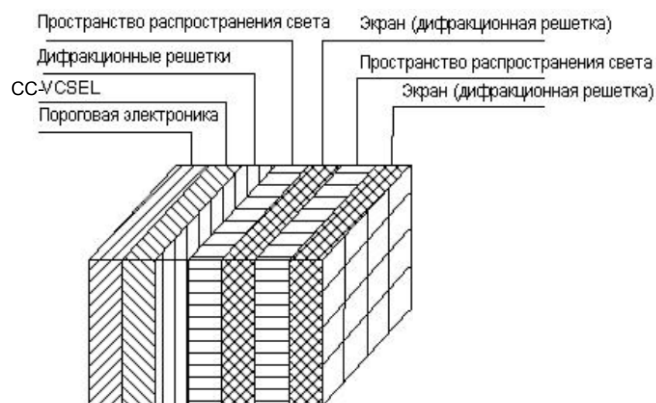


Рис. 5. Структура блока матрицы фотонного вычислительного элемента

ВЫВОДЫ

Рассмотрены физические принципы и обоснована техническая возможность построения структур оптических логических элементов для выполнения основных логических операций, которые функционируют на основе пространственной интерференции L - и S - мод излучения фазово-синхронизированных полупроводниковых лазеров с вертикально связанными оптическими резонаторами (в режиме двухчастотной генерации). Такие логические фотонные структуры и могут стать основой полнофункционального базиса фотонных логических элементов, хорошо интегрируются в 2D массивы, а также имеют хорошие перспективы для создания на их основе принципиально новых матричных вычислительных структур.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Исихара С. Оптические компьютеры: Новая эра науки. – М.: Наука, 1992. – 96 с.
2. Акаев А.А., Майоров С.А. Оптические методы обработки информации. – М.: Высшая школа, 1988. – 237 с.
3. Кожемяко В.П. Основы теории и схемотехники оптоэлектронных элементов и устройств логико-временного типа: Дис... д-ра техн. наук: 05.13.05. – К., 1988. – 519 с.
4. Лысенко Г.Л., Аль Равашдех Медин, Кобзаренко Р.Л. Оптический вычислительный модуль оптического компьютера / Г.Л. Лысенко, М. Аль Равашдех, Р.Л. Кобзаренко // Вісник ВПІ – 2003. – №6. – С. 360-364.
5. Евтихий Н.Н., Каринский С.С., Мировицкий Д.И. Когерентно - оптические устройства передачи и обработки информации. – М., 1987. – 158 с.
6. Caulfield H.J. The logic of optics and the optics of logic / Caulfield H.J, Westphal J. // Information Sciences – 2004, Vol. 162, No. 1, pp. 21–33.
7. Koyama Fumio. Recent Advances of VCSEL Photonics // Journal of Lightwave Technology. – 2006, Vol. 24, No. 12, pp. 4502-4515.
8. Brunner M. Continuous-Wave Dual-Wavelength Lasing in a Two-Section Vertical-Cavity Laser / M. Brunner, K. Gulden, R. Hovel [и др.] / IEEE Phot. Techn. Lett. – 2000, No. 12, pp. 1316-1325.
9. Логгинов А.С. Двухчастотные лазеры со связанными вертикальными резонаторами / А.С. Логгинов, А.Г. Ржанов, Д.В. Скоров // Квантовая электроника. – 2006, Т. 36, № 6, с. 520–526.
10. Badilita V. Control of Polarization Switching in Vertical Coupled-Cavities Surface Emitting Lasers / V. Badilita, J.-F. Carlin, M. Hegems [и др.] // IEEE Photonics Technology Letters. – 2004, No. 16, pp. 365-367.

Надійшла до редакції 11.12.2013р.

ЛЫСЕНКО ГЕННАДИЙ ЛЕОНИДОВИЧ – к.т.н., доцент, профессор кафедры лазерной и оптикоэлектронной техники, Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина.

ТУЖАНСКИЙ СТАНИСЛАВ ЕВГЕНЬЕВИЧ – к.т.н., доцент, доцент кафедры лазерной и оптикоэлектронной техники, Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина.

АЛЬРАВАШДЕХ МЕДИН – соискатель кафедры лазерной и оптоэлектронной техники, Винницкий национальный технический университет, г. Винница, Украина.

УДК 681.586.773

Й.І. СТЕНЦЕЛЬ¹, С.В. ПАВЛОВ², А.В. РЯБІЧЕНКО¹, К.А. ЛІТВИНОВ¹

ФІЗИЧНЕ ТА МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ МЕТОДІВ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

¹*Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля, 93406, просп. Радянський, 59а, м.Сєвєродонецьк, Луганська область,*

²*Вінницький національний технічний університет, 21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця*

Анотація. У роботі наведено результати аналізу роботи біологічного організму, його теоретичних та експериментальних досліджень, принципи діагностування стану людського організму ультразвуковими методами. Показано, що діагностика стану здоров'я людини базується на основі прямого перенесення ультразвукової енергії, без врахування принципів їх створення, реологічних переходів, перетворень і стоку того чи іншого явища перенесення. Засоби ультразвукових методів діагностики, як правило, визначають тільки стік перенесення енергії.

Ключові слова: біологічний організм, неінвазивні методи, ультразвук, діагностика, стік, похибка, контроль, час, джерело, випромінювач, людина.

Аннотация. В работе приведены результаты анализа работы биологического организма, его теоретических и экспериментальных исследований, принципы диагностирования состояния человеческого организма ультразвуковыми методами. Показано, что диагностика состояния здоровья человека базируется на основе прямого переноса ультразвуковой энергии, без учета принципов их создания, реологических переходов, преобразований и стока или иного явления переноса. Средства ультразвуковых методов диагностики, как правило, определяют только сток переноса энергии.

Ключевые слова: биологический организм, неинвазивные методы, ультразвук, диагностика, сток, погрешность, контроль, время, источник, излучатель, человек.

Abstract. The paper presents the results of analysis of a biological organism, its theoretical and experimental studies, principles of diagnostics of the human body ultrasonic methods. It is shown that the diagnosis of human health is based on the direct transfer of ultrasonic energy, without regard to principles of their creation, rheological transitions, transformations and flow of a transfer phenomena. Means of ultrasound diagnosis is usually determined only drain energy transfer.

Keywords: biological organism, non-invasive methods, ultrasound diagnostics, stack, error control, time, source, emitter, man.

ВСТУП

Ультразвукове випромінювання широко використовується в різних областях науки і техніки, у тому числі для контролю різноманітних технологічних параметрів, у дефектоскопії, для побудови неінвазивних засобів лікування тощо [1–5]. Ультразвуковий сигнал (УЗС) випромінюється ультразвуковим випромінювачем (УЗВ) і направляється на досліджуваний об'єкт. Після відповідного перетворення УЗС сприймається ультразвуковим приймачем (УЗП). На шляху проходження УЗС може декілька разів перетворюватися в різну форму. Кожний такий перехід є реологічним. В ультразвукових засобах діагностики використовуються, як правило, п'єзoeлектричні (в основному п'єзокерамічні) елементи (ПКЕ), які призначені для створення ультразвукових коливань (УЗК) при дії на них електричного збуджуючого імпульсу [6, 7]) або ультразвукові генератори при використанні широкої смуги УЗК.

При використанні ПКЕ під дією електродинамічного зусилля він деформується. Після припинення дії електродинамічного зусилля УЗВ здійснює вільні механічні коливання, частота яких знаходиться в ультразвуковому діапазоні. З іншої сторони, механічні коливання наводять в УЗВ електрорушійну силу з частотою тих же коливань, яка створює електродинамічне зусилля, котре направлено протилежно до напрямку руху УЗВ, створюючи гальмуючу дію [7–14].. За рахунок цього загасання коливань УЗВ здійснюється швидше, що приводить до формування короткого ультразвукового імпульсу у формі інтегральної δ – функції Дірака. Виходячи зі сказаного в УЗВ протікають електромагнітні процеси, які супроводжуються перетвореннями електричної енергії в механічну та навпаки.

Ультразвукові методи діагностики широко використовуються в медичній практиці для діагностики різноманітних захворювань. У більшості випадків використовуються ультразвукові методи, котрі засновані на ультразвуковому випромінювання електромагнітних генераторів. До основних недоліків таких електромагнітних генераторів ультразвукових частот відноситься створення вихрових струмів в біологічному організмі за рахунок наведених електромагнітних полів, а також їх вплив на біомагнітне поле організму. Такі недоліки відсутні при діагностиці біологічного організму ультразвуковими хвилями механічного походження.

МЕТА СТАТТІ

Метою роботи є вивчення, аналіз та фізичне й математичне моделювання ультразвукових методів діагностики стану здоров'я людини, побудованих на основі механічних коливань п'єзокерамічного плаского елемента.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Нехай у деякій розглядуваній області УЗВ існує неоднорідне фізичне тіло (плаский елемент у формі мембрани, яка жорстко закріплена за периметром). Неоднорідність розподілення потенціалу переносу $\varphi(\vec{r}, \theta)$ електричної енергії (ЕЕ) приводить до відхилення від стану рівноваги УЗВ і є причиною виникнення потоків перенесення. У цій області має місце механічний рух, який характеризується полем швидкостей $v(\vec{r}, \theta)$, де $\vec{r}$ - вектор направленості руху перенесення; θ - час перенесення механічної енергії. Джерела або стоки потенціалу перенесення γ характеризуються об'ємною напруженістю електричного поля $E(\vec{r}, \theta)$ ПКЕ. Такі УЗВ можна накладати безпосередньо на поверхню біологічного організму. При цьому створюється зона реологічного переходу від ПКЕ до поверхні шкірного покриву, через котру передаються ультразвукові коливання (УЗК). Задача полягає у вивченні процесів перетворення УЗК в біологічному організмі та їх математичне описання на основі теорії реологічних перетворень.

ПРИНЦИП ПЕРЕНЕСЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО СИГНАЛУ ЧЕРЕЗ ПОВЕРХНЮ

При такому методі ультразвукової діагностики УЗК посилаються в організм імпульсами з частотою, яка установлюється оператором (лікарем), але не меншою, ніж період ультразвукового імпульсу (УЗІ). Перенесення потенціалу φ через поверхню розглядуваного об'єму складається з перенесення за рахунок руху та потоку перенесення УЗВ, який позначимо через $\bar{q}$. Таким чином, потік $\bar{Q}$ електричного збуджуючого імпульсу (ЕЗІ) витрачається на механічний рух, який виконується зі швидкістю $\bar{v}$ і може бути записаний у вигляді

$$\bar{Q} = \bar{\varphi} \cdot \bar{v} + \bar{q} . \quad (1)$$

В інтегральній формі умова зберігання електричного потенціалу для даного об'єму V має наступну форму

$$\int_V \frac{\partial \varphi}{\partial \theta} dV = \oint_S Q d\vec{f} + \int_V \gamma dV , \quad (2)$$

де S - поверхня об'єму; $d\vec{f} = \bar{n} d\zeta$ - елемент поверхні; $\bar{n}$ - одиничний вектор елемента $d\zeta$.

Для довільного об'єму рівняння (2) приймає наступну форму

$$\frac{\partial \varphi}{\partial g} + \operatorname{div} Q - \gamma = 0. \quad (3)$$

де γ - джерело потенціалу перенесення електричного поля.

Стік напруженості електричного поля обумовлений вторинними механічними коливаннями УЗВ. Тому його можна розділити на дві частини: стік γ_M , який обумовлений тертям елемента при його механічному русі в газовому чи біологічному середовищі, і стік γ_E , який обумовлений гальмуючою дією створюваної в пластині електрорушійної сили. Враховуючи сказане, рівняння для стоку напруженості електричного поля запишемо таким чином:

$$\gamma = \gamma_M + \gamma_E. \quad (4)$$

З врахуванням (4) рівняння (1) приймає такий вигляд

$$\frac{\partial \varphi}{\partial g} + \operatorname{div}(\varphi, \bar{v}) = -\operatorname{div} \bar{q} + \gamma_M + \gamma_E. \quad (5)$$

Якщо в розглядуваному об'ємі має місце перетворення електричної енергії в механічну, то, позначивши $H(\bar{r}, g)$ - напруженість електричного поля, $v_i(\bar{r}, g)$ - швидкість зміни електричного поля і $\gamma_M(\bar{r}, t)$ - інтенсивність стоку механічної енергії в одиницю об'єму за одиницю часу t , $\gamma_E(\bar{r}, t)$ - інтенсивність стоку електричної енергії в одиницю об'єму за одиницю часу t рівняння перенесення приймає наступну форму

$$\frac{\partial H}{\partial g} + \operatorname{div}(H, \bar{v}) = \operatorname{div}(D \nabla H) + \gamma_M(\bar{r}, t) + \gamma_E(\bar{r}, t). \quad (6)$$

Рівняння (6) враховує такі важливі фактори, як втрати (стік) механічної та електричної енергії, що є надзвичайно важливим при дослідженні УЗВ. Нехай механічний рух УЗВ в електричному полі незначно відрізняється від зміни електромагнітного поля (ЕМП), створеного механічними коливаннями. Тоді можна прийняти, що різниця зміни швидкості механічного руху та зміни електричного поля дорівнює нулю, тобто $\Delta \bar{v}(\bar{r}, 0) = \bar{v}_M(\bar{r}, g) - \bar{v}_E(\bar{r}, \theta) = 0$. При такому припущенні рівняння перенесення напруженості електричного поля в УЗВ, приймає наступну форму

$$\frac{\partial H}{\partial g} = \operatorname{div}(D \nabla H) + \gamma_E(\bar{r}, t). \quad (7)$$

Якщо параметр D мало залежить від процесу перенесення, то рівняння (7) спрощується і приймає наступну форму

$$\frac{\partial H}{\partial g} = D \nabla^2 H + \gamma_E. \quad (8)$$

Припустимо, що в деякому елементарному об'ємі знаходиться пластина УЗВ, котра в деякий момент часу $t > 0$ пов'язується ЕМП напруженістю H_0 . При часі $t \rightarrow \infty$ перехідний процес перенесення електричної енергії в УЗВ закінчується. Так як параметр γ_E є пропорційним напруженості H ЕМП пластини, тобто $\gamma_E = k_H H$, то його зміна в часі може мати тільки дві форми. Першою формою є механічна енергія, яка створювана електричним імпульсом, а другою формою є ЕМЕ, яка

створюється рухом пластини УЗВ. Враховуючи, що УЗВ є електропровідним, який характеризується активним опором, індуктивністю та ємністю, і по якому протікає електричний струм i , створюваним електричним імпульсом, то вільна складова перехідного процесу, яка характеризує втрату електричної потужності, має вигляд

$$\tau_{2\Pi}^2 \frac{d^2 i}{d\theta^2} + \tau_{1\Pi} \frac{di}{d\theta} + i = 0, \quad (9)$$

де $\tau_{2\Pi}, \tau_{1\Pi}$ - сталі часу перехідного процесу УЗВ, котрі при вище прийнятих припущеннях дорівнюють сталім часу механічних коливань пластини ПЕЕ.

Напруженість електричного поля в УЗВ $H_{\Pi} = K_{\Pi} i$, де K_{Π} - стала. Підставимо це рівняння в (9). У результаті маємо

$$\tau_{2K}^2 \frac{d^2 H_{\Pi}}{d\theta^2} + \tau_{1K} \frac{dH_{\Pi}}{d\theta} + H_{\Pi} = 0, \quad (10)$$

де $\tau_{1K} = K_{\Pi} \tau_{1\Pi}$, $\tau_{2K} = K_{\Pi} \tau_{2\Pi}$ - сталі часу.

Якщо рахувати, що напруженість електричного збуджуючого імпульсу (ЕЗІ) повністю передається УЗВ, то повинна виконуватися умова

$$H_{\Pi}(\theta) = \Psi \frac{\partial H}{\partial \vartheta}, \quad (11)$$

де Ψ - стала процесу перенесення.

Продиференціюємо ліву та праву частини рівняння (11) за часом перенесення ультразвукової енергії (УЗЕ) θ . У результаті маємо

$$\frac{\partial H_{\Pi}}{\partial \theta} = \Psi \frac{\partial^2 H}{\partial \vartheta \partial \theta}. \quad (12)$$

З врахуванням (11) і (12) рівняння (8) приймає наступну форму.

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} + \Psi \frac{\partial^2 H}{\partial \vartheta \partial \theta} = D \nabla^2 H + \gamma_E. \quad (13)$$

Якщо стала $\Psi \rightarrow \infty$, а $\theta \approx \vartheta$, то $\partial^2 H / \partial \vartheta^2 \rightarrow 0$. У цьому випадку перенесення напруженості ЕМП в УЗВ відсутнє. При $\Psi = \tau_{\Pi}$ і $\theta = \vartheta$ рівняння (13) приймає наступну форму

$$\tau_{\Pi} \frac{\partial^2 H_{\Pi}}{\partial \vartheta^2} + \frac{\partial H_{\Pi}}{\partial \vartheta} = D \nabla^2 H + \gamma_E. \quad (14)$$

Після переходу від повної похідної до часткової рівняння (14) приймає вигляд

$$\tau_{2\Pi}^2 \frac{d^3 H_{\Pi}}{d\vartheta^3} + \tau_{1\Pi} \frac{d^2 H_{\Pi}}{d\vartheta^2} + \frac{dH_{\Pi}}{d\vartheta} = D \nabla^2 H + \gamma_E. \quad (15)$$

Ліва частина рівняння (15) характеризує зміну напруженості УЗВ, яка викликає механічну дію, а права – зміну напруженості цього поля при випромінюванні УЗК. Так як у досліджуваному об'єкті мають місце втрати напруженості, то, приймаючи, що $\gamma_E = \partial H / \partial t$, де t - час стоку електромагнітної енергії

ЕМЕ, рівняння (15) набуває такого вигляду

$$\tau_{2\Pi}^2 \frac{d^3 H_{\Pi}}{d\vartheta^3} + \tau_{\Pi\Pi} \frac{d^2 H_{\Pi}}{d\vartheta^2} + \frac{dH_{\Pi}}{d\vartheta} = -D\nabla^2 H - \frac{\partial H}{\partial t}. \quad (16)$$

Таким чином, електромагнітний процес, який протікає в УЗВ, описується нелінійним диференціальним рівнянням. Знак «мінус» у рівнянні (16) показує, що має місце зменшення механічної енергії, а відповідно й зменшення ЕМЕ в УЗВ. Структурно-фізичну модель електромагнітних перетворень можна подати у формі реологічних перетворень, як показано на рис. 1. Згідно з теорією реологічних перетворень [15-24] в УЗВ мають місце наступні послідовні переходи:

- енергія ЕЗІ з амплітудою E_0 створює в УЗВ електродинамічне зусилля E_∂ ;
- електродинамічне зусилля приводить до механічного руху УЗВ, переміщаючи його на деяку відстань r пропорційну цьому зусиллю;
- вільний механічний рух УЗВ створює механічні УЗК з частотою f ;
- УЗК індукують електрорушійну силу E , яка створює напруженість H електромагнітного поля;
- електромагнітне поле викликає вторинну механічну дію УЗВ.

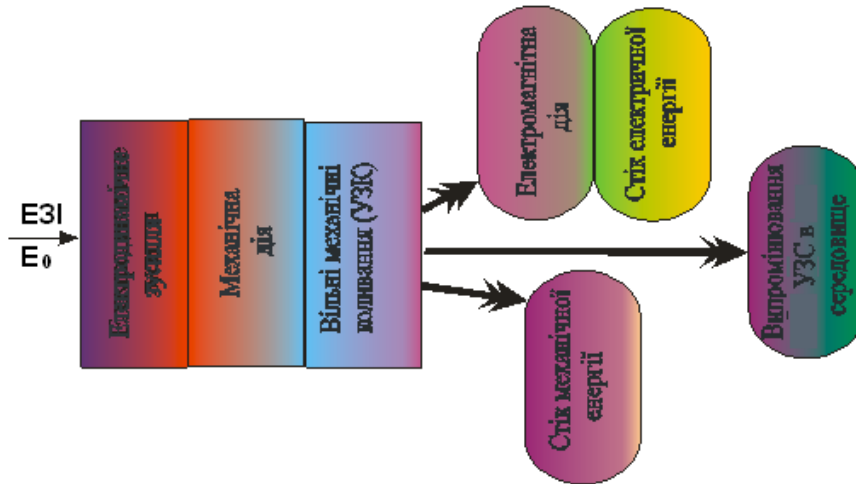


Рис. 1. Фізична модель реологічних перетворень в УЗВ

ФІЗИЧНІ МОДЕЛІ РЕОЛОГІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕЗІ В НАПРУЖЕНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

У процесі активізації ПЕЕ енергія ЕЗІ зменшується до нуля, а енергія, яка накопичена цим елементом, зростає від нуля до деякого максимального значення. Взаємодія двох енергій створює електродинамічне зусилля, яке приводить до переміщення центра металеві мембрани на відстань x_0 . Графіки незворотних реологічних переходів (НРП) показані на рис. 2. Структурно-реологічна модель спаду напруженості ЕЗІ являє собою ступінчасту функцію, яка може бути описана рівнянням (див. рис. 2, б):

$$E_I(t) = \begin{cases} 1 & t \leq t_{11}; \quad t_{11} < t_{12} \\ 0 & t \geq t_{12}; \quad t_{11} < t_{10} < t_{12} \end{cases}.$$

Структурно-логічна модель зростання напруженості електричного поля ПЕЕ теж являє собою ступінчасту функцію, яку можна описати таким рівнянням (див. рис. 2, в)

$$H_{\Pi}(t) = \begin{cases} 1 & t \geq t_{12} \\ 0 & t < t_{11} \end{cases}.$$

Тривалість фазового переходу залежатиме від електричних параметрів ПЕЕ. Згідно з теорією узагальнених функцій, похідна ступінчастої функції приводить до символічної рівності $\delta_1(t) = \frac{d}{dt} f_1(t)$, де $\delta_1(t)$ - дельта-функція Дірака; $f_1(t)$ - деяка довільна функція.

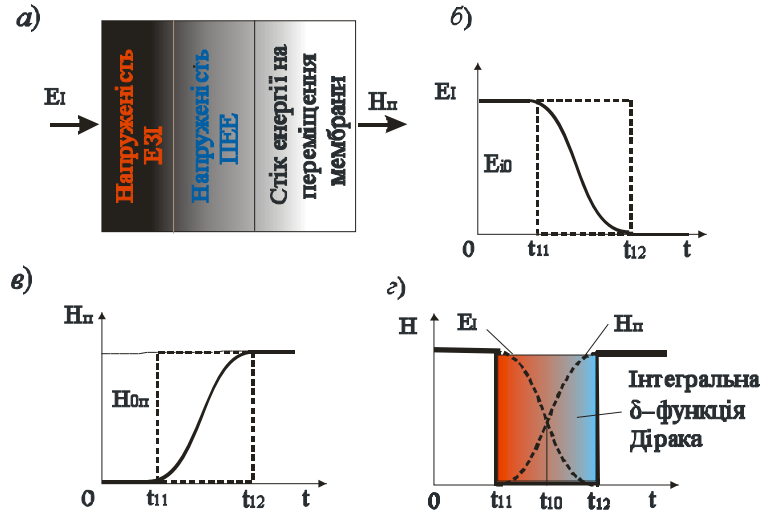


Рис. 2. Фізична модель (а) і графіки НРП реологічного переходу: б) – графік НРП ЕЗІ; в) – графік НРП напруженості електричного поля ПЕЕ; г) – графік інтегральної імпульсної δ – функції Дірака

Якщо функція $f_1(t)$ описує процес перенесення напруженості зі спадковістю, то функція Дірака є асиметричною й описується рівнянням (див. рис. 2, г)

$$\int_{t_{11}+0}^{t_{12}} f_1(\xi) \delta(\xi - t_{10}) d\xi = \begin{cases} 0 & t_{10} < t_{11}, \quad t_{10} \geq t_{12} \\ f_1(t_{10} + 0) & t_{11} < t_{10} < t_{12} \end{cases},$$

де ξ - деяка змінна; $\delta(\xi - t_{10})$ - ядро лінійного інтегрального перетворення; t_{10} - середнє значення часу фазового переходу. Такий фазовий реологічний перехід описується рівнянням у вигляді

$$f_1(\xi) = \frac{\partial E_I}{\partial t} = \text{div}(D_E \nabla E_I) + H_{\Pi}(\bar{r}_{H\Pi}, t), \quad (17)$$

де D_E - коефіцієнт перенесення електричної енергії в напруженість ЕМП; $\bar{r}_{H\Pi}$ - вектор напрямку дії напруженості ЕМП.

ФІЗИЧНІ МОДЕЛІ РЕОЛОГІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ НАПРУЖЕНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ В ПЕРЕМІЩЕННЯ МЕМБРАНИ

На цьому етапі реологічного перетворення напруженість ЕМП спадає, а лінійне переміщення УЗВ збільшується. Графіки незворотних реологічних перетворень для реологічного переходу показані на рис. 3. За аналогією з попереднім реологічним переходом такий фазовий реологічний перехід описується наступним рівнянням

$$f_2(\xi) = \frac{\partial H_{\Pi}}{\partial t} = \text{div}(D_{H\Pi} \nabla H_{\Pi}) + x(\bar{r}_x, t). \quad (18)$$

де D_{HP} - коефіцієнт перенесення напруженості ЕМП у переміщення мембрани ПЕВ; $\vec{r}_x$ - вектор напрямку руху мембрани.

ФІЗИЧНІ МОДЕЛІ РЕОЛОГІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ УЗВ В УЗК

На цьому реологічному переході проходить зменшення амплітуди вимушеного відхилення мембрани і поява вільних її коливань з ультразвуковою частотою та інтенсивністю I_0 . Графіки НРП для цього реологічного переходу показані на рис. 4. Такий фазовий реологічний перехід описується рівнянням

$$f_3(\xi) = \frac{\partial x}{\partial t} = \text{div}(D_x \nabla x) + y(\vec{r}_y, t). \quad (19)$$

де D_x - коефіцієнт перенесення вимушеного руху мембрани в її вільні коливання; $\vec{r}_y$ - вектор напрямку руху вільних коливань мембрани.

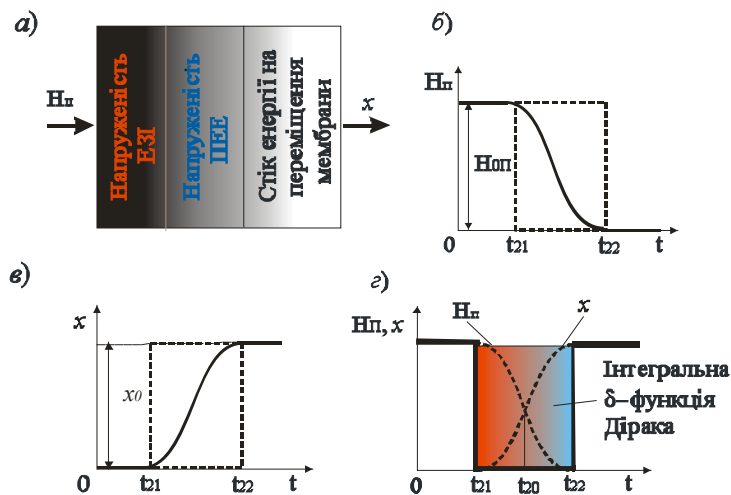


Рис. 3. Фізична модель (а) і графіки НРП реологічного переходу: б) – графік НРП напруженості електричного поля ПЕЕ; в) – графік незворотного реологічного переміщення мембрани; г) – графік інтегральної імпульсної δ – функції Дірака

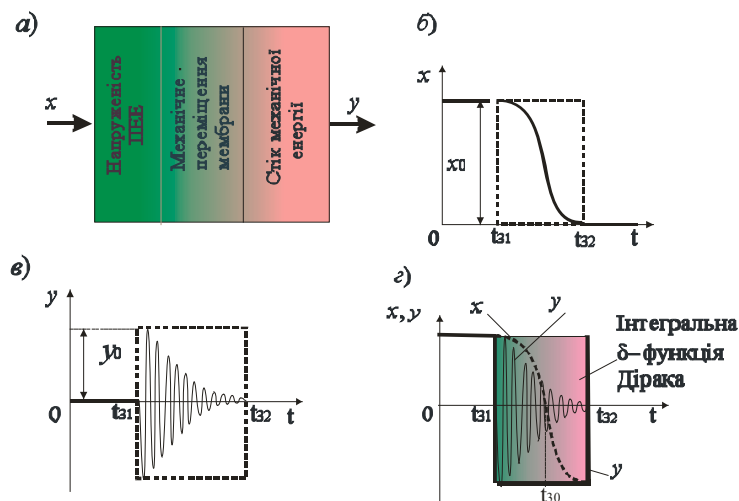


Рис. 4. Фізична модель (а) і графіки НРП реологічного переходу: б) – графік НРП вільного відхилення мембрани УЗВ; в) – графік незворотного реологічного переміщення мембрани в УЗК; г) – графік інтегральної імпульсної δ – функції Дірака

ФІЗИЧНІ МОДЕЛІ РЕОЛОГІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ УЗК МЕМБРАНИ В БІОЛОГІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

УЗС, який створений УЗВ, направляється в досліджуване біологічне середовище. На цьому реологічному переході обвідна y_{10} УЗС загасає в залежності від відстані J перенесення УЗЕ, наприклад, за законом Ламберта-Бугера-Бера. Дійшовши до поверхні деякого визначального середовища, обвідна змінюється до величини y_{20} . Графіки НРП для цього реологічного переходу показані на рис. 5. Такий фазовий реологічний перехід описується наступним рівнянням

$$f_4(\xi) = \frac{\partial y_{10}}{\partial t} = \text{div}(D_{y_{10}} \nabla y_{10}) + y_{20}(\bar{r}_{y_{20}}, t). \quad (20)$$

де $D_{y_{10}}$ - коефіцієнт перенесення ультразвукової енергії в біологічному середовищі; $\bar{r}_{y_{20}}$ - вектор напрямку руху УЗК.

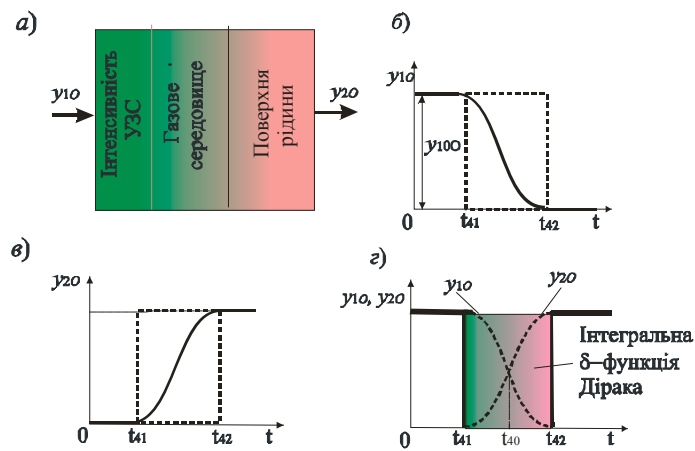


Рис. 5. Фізична модель (а) і графіки НРП реологічного переходу: б) – графік НРП випроміненого УЗС в біологічне середовище; в) – графік НРП відбитого УЗС; з) – графік інтегральної імпульсної δ – функції Дірака

ФІЗИЧНІ МОДЕЛІ РЕОЛОГІЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ СПРИЙМАЮЧИХ УЗС В ЕЛЕКТРИЧНИЙ ВИХІДНИЙ СИГНАЛ

Графіки НРП для цього реологічного переходу показані на рис. 6.

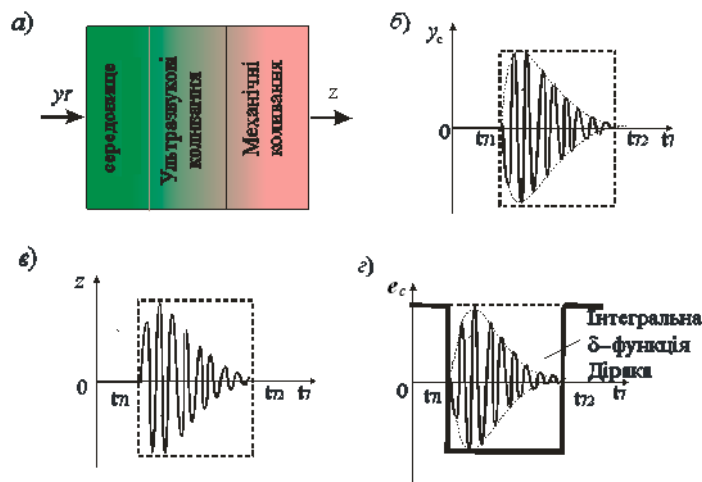


Рис. 6. Фізична модель (а) і графіки НРП реологічного переходу: б) – графік НРП УЗС у механічні коливання; в) – графік незворотного реологічного переміщення мембрани; з) – графік інтегральної імпульсної δ – функції Дірака

Фазовий реологічний перехід описується таким рівнянням

$$f_7(\xi) = \frac{\partial y_c}{\partial t} = \text{div}(D_{y_c} \nabla y_c) + z(\bar{r}_z, t). \quad (21)$$

де D_{y_c} - коефіцієнт перенесення відбитої від поверхні досліджуваного елемента тіла ультразвукової енергії; $\bar{r}_z$ - вектор напрямку руху мембрани ПЕП.

Фазовий реологічний перехід вимушених механічних коливань УЗП в електричний сигнал, який сприймається електричною вимірювальною схемою (ЕВС), описується наступним рівнянням

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \text{div}(D_z \nabla z) + e_c(\bar{r}_{e_c}, t). \quad (22)$$

де D_z - коефіцієнт перенесення кількості руху мембрани в ЕРС; $\bar{r}_{e_c}$ - вектор напрямку дії ЕРС.

За рахунок реологічних фазових переходів форма випроміненого в біологічне середовище УЗС (рис. 7) суттєво змінюється як за амплітудою, так і за формою обвідної (рис. 8).

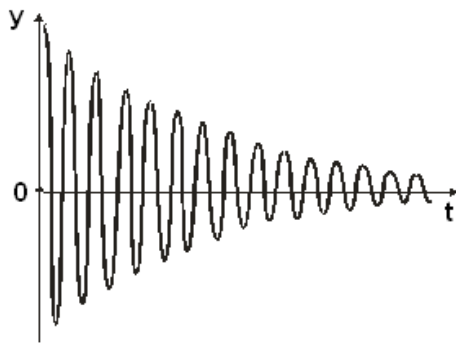


Рис. 7. Форма випромінюючого УЗС

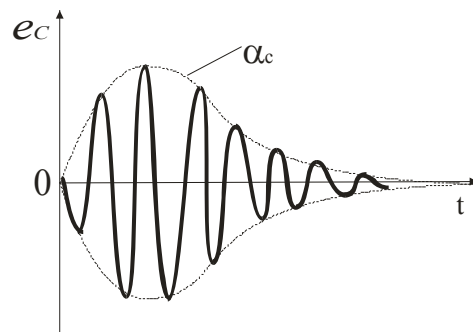


Рис. 8. Форма сприймаючого УЗС

ВИСНОВОК

Аналіз фазових реологічних перетворень п'єзокерамічного ультразвукового перетворювача показує, що на вимірювальний контроль визначальних параметрів біологічного середовища чинять вплив не тільки фізико-хімічні параметри цього середовища, але й механічні та електричні параметри ПКЕ. Як видно з фізичних моделей реологічні перетворення описуються нелінійними диференціальними рівняннями, що свідчить про наявність нелінійних складових похибок вимірювального контролю. Як показують теоретичні та експериментальні дослідження п'єзокерамічних перетворювачів, форма електричного сигналу, який поступає в електровимірювальну схему відрізняється від форми УЗС, яка випромінюється в біологічне середовище.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шкарлет Ю.М. Бесконтактные методы ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1974. – 57 с.
2. Рабинович М.И., Трубецков Д.И. Введение в теорию колебаний и волн. – М.: Наука, 1984. – 362 с.
3. Корольов М.В., Аристов В.В., Урываев В.В. Портативный эхоимпульсный ультразвуковой толщиномер УТ-31 М. Дефектоскопия, 1977, №2. – С. 18-26.
4. Шрайбер Д.С. Ультразвуковая дефектоскопия. М.: Металлургия, 1965. – 391 с.
5. Ермолов И.Н. Отражение ультразвука от дефектов различной формы. – Дефектоскопия, 1970, №4. – С. 17-24.
6. Бесконтактные акустические дальномеры [Електрон. ресурс] / Жмылёв А.Б., Шерман О.А. – Режим доступу: www.vzljot.ru/files/publications/2004/bezkotakt-akust-dalnomer.pdf – Назва з титул.екрану.
7. Бабилов О.И. Контроль уровня с помощью ультразвука. – Л.: Энергия, 1971. – 98 с.
8. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник / Перевод с английского Ю.А. Заболотной под ред. Е.Л. Свинцова. – Москва: Техносфера, 2006. – 592 с.
9. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Глав. ред. И.П. Голямина. – М.: «Советская энциклопедия»,

1979. – 400 с., илл.
10. Шутилов В.А. Основы физики ультразвука: Учеб. пособие. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. – Ил. – 78, табл. – 22, библиогр. – 109 назв. с. 1 – 280.
 11. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский. – К.: Наук. думка, 1989. – 864 с. – Библиогр.: с. 846 – 848.
 12. Беранек Л. Акустические измерения. – М.: Изд-во иностр. лит., 1952. – 626 с.
 13. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. – М.: Изд-во иностр. лит., 1956. – 726 с.
 14. А.Е. Колесников. Ультразвуковые измерения. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 248 с., ил.
 15. Стенцель Й.І., Рябіченко А.В., Євсюков В.В. Математичні моделі зрівноважуючого ультразвукового засобу контролю рівня рідинних середовищ. //Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. «Електроенергетика і преобразовательная техника». – Харків: НТУ «ХПІ» - № 12. – 2010. – с. 3-8.
 16. Стенцель Й.І., Томсон А.В., Рябіченко А.В. Теоретичні та експериментальні дослідження ультразвукових п'єзоелектричних перетворювачів рівня рідин. //Матеріали другої міжнародної науково-практичної конференції „Розвиток наукових досліджень 2006”. Полтава. Том 6, 2006. – с. 61-63.
 17. Стенцель Й.І., Рябіченко А.В., Євсюков В.В. Математичне описання ультразвукових приладів контролю рівня рідинних середовищ. //Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток наукових досліджень 2010». Том 8. -. Полтава, 2010. – с.113-116.
 18. Стенцель Й.І. Математичне моделювання хімічних процесів на основі теорії реологічних переходів. Вісник Східноукр.нац університету. Науковий збірник. №5 (111),.Ч.2.- 2007. – с.91-97.

Надійшла до редакції 20.11.2013р.

СТЕНЦЕЛЬ ЙОСИП ІВАНОВИЧ – д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління, Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Луганська область, Україна.

ПАВЛОВ СЕРГІЙ ВОЛОДИМИТРОВИЧ - д.т.н., професор, завідувач кафедри загальної фізики та фотоніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

РЯБІЧЕНКО АНТОН ВІКТОРОВИЧ – к.т.н., старший науковий співробітник кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління, Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Луганська область, Україна.

ЛІТВІНОВ КОСТЯНТИН АНАТОЛІЙОВИЧ – студент Технологічного інституту Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, м. Северодонецьк, Луганська область, Україна.

УДК 615.47:616-073

Н.І. ЗАБОЛОТНА, К.О. РАДЧЕНКО, С.В. КОСТЮК

СТАТИСТИЧНА, КОРЕЛЯЦІЙНА І ФРАКТАЛЬНА СТРУКТУРА МЮЛЛЕР – МАТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ БАГАТОШАРОВИХ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

*Вінницький національний технічний університет,
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна,
E-mail: Natalia.zabolotna@gmail.com*

Анотація. В роботі розглянуто Мюллер-матричне моделювання оптико-анізотропних властивостей багатошарових біологічних тканин (м'язової тканини та дерми шкіри) з прямим отриманням Мюллер-матричних зображень досліджуваних зразків. Проведено комплексний статистичний, кореляційний та фрактальний аналіз отриманих зображень. Отримано результати аналізу та сформовано критерії диференціації оптичних властивостей багатошарових полікристалічних мереж біологічних тканин.

Аннотация. В работе рассмотрено Мюллер-матричное моделирование оптико-анизотропных свойств многослойных биологических тканей (мышечной ткани и дермы кожи) с прямым получением Мюллер-матричных изображений исследуемых образцов. Проведен комплексный статистический, корреляционный и фрактальный анализ полученных изображений. Получены результаты анализа и сформированы критерии дифференциации оптических свойств многослойных поликристаллических сетей биологических тканей.

Abstract. In this paper examined Mueller-matrix optical simulation of multilayer anisotropic properties of biological tissues (muscle and dermis of the skin) direct receipt of Mueller-matrix images of samples. The complex statistical, correlation and analysis of fractal images. An analysis criteria of differentiation and formed multilayer optical properties of polycrystalline networks of biological tissues.

Ключові слова: багатошарова тканина, дерма шкіри, м'язова тканина, Мюллер-матричне зображення, статистичний, кореляційний, фрактальний аналіз, полікристалічна мережа.

ВСТУП

Вимірювання матриць Мюллера світлорозсіюючих шарів надає можливість отримати найповнішу (статистично усереднену для всіх неоднорідностей біологічного об'єкта) інформацію про поляризаційні властивості останнього [1 - 7]. Впровадження двокомпонентної аморфно-кристалічної моделі біологічних тканин [8 -11] було покладено в основу встановлення взаємозв'язків розподілів сукупності елементів матриці Мюллера з розподілами орієнтацій та двоприменезаломлюючої здатністю речовини компонентів кристалічних доменів. На цій основі встановлено, що основною причиною формування координатних розподілів елементів матриці Мюллера (Мюллер - матричних зображень) є механізми перетворення станів поляризації статистично зорієнтованими анізотропними фібрилами та фазовими зсувами між ортогонально поляризованими компонентами лазерного випромінювання. У результаті сформульовані критерії діагностики м'язових дистрофій, передракових (дисплазій) станів сполучної тканини, колагенозів, ранніх стадій септичних процесів та ін. [10, 11, 13].

У роботах [1 - 12] запропоновано узагальнюючий підхід до формування Мюллер – матричних зображень багатошарових структурованих і випадкових полікристалічних мереж на основі принципу суперпозиції матричних операторів парціальних оптично одноосних двоприменезаломлюючих протеїнових кристалів.

Досягнутий рівень Мюллер-матричної поляриметрії обумовлює постановку нових, актуальних завдань. Зокрема, це - вдосконалення існуючих та розробка нових методик і підходів до класифікації та диференціації оптичних властивостей більш складних багатошарових біологічних структур.

Наша робота спрямована на експериментальне дослідження двошарових одноразово розсіюючих біологічних тканин методами Мюллер – матричної томографії з метою визначення сукупності статистичних, кореляційних і фрактальних критеріїв діагностики змін орієнтаційно-фазової структури

сітки біологічних кристалів внутрішніх шарів тканин і органів людини, які “екрануються” зовнішніми шарами (епітелій, дерма шкіри).

ОПТИЧНА СХЕМА ДВОВИМІРНОЇ МЮЛЛЕР – МАТРИЧНОЇ ТОМОГРАФІЇ ОПТИКО-АІЗОТРОПНИХ БІОЛОГІЧНИХ ШАРІВ І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ

На рис. 1 показано оптичну схему системи для вимірювання сукупності координатних розподілів елементів матриці Мюллера гістологічних зрізів біологічних тканин.

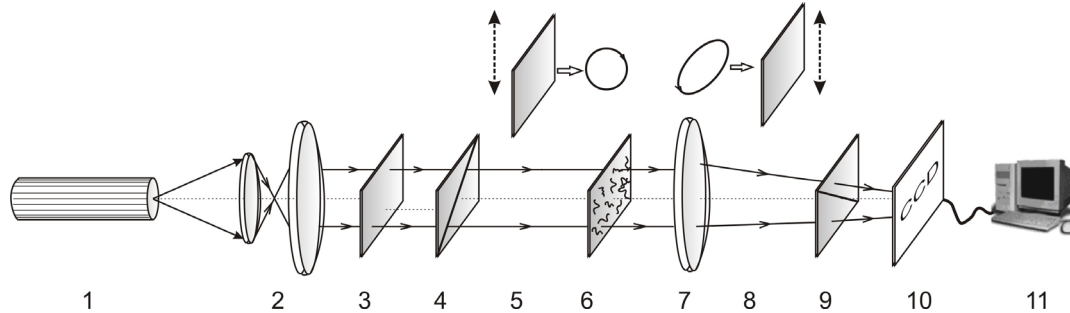


Рис. 1. Оптична схема системи двовимірної Мюллер-матричної томографії:

1 – напівпровідниковий лазер; 2 – коліматор; 3 – стаціонарна чвертьхвильова платівки; 5, 8 – механічно рухомі чвертьхвильові платівки; 4, 9 – поляризатор та аналізатор відповідно; 6 – об’єкт дослідження; 7 – мікрооб’єктив; 10 – CCD камера; 11 – персональний комп’ютер

Освітлення проводилося паралельним ($\varnothing = 104\text{мкм}$) пучком напівпровідникового лазера ($\lambda=0.64\text{мкм}$, $W = 5.0\text{ мВт}$). Поляризаційний освітлювач складається з чвертьхвильових пластинок 3; 5 і поляризатора 4, що забезпечує формування лазерного пучка з довільним азимутом або еліптичністю поляризації.

Поляризаційні зображення біологічних тканин за допомогою мікрооб’єктива 7 проектувалися в площину світлочутливої площини (800×600 пікселів) CCD-камери 10, яка забезпечувала діапазон вимірювання структурних елементів зображення біологічних тканин для наступних розмірів $2\text{мкм} - 2000\text{мкм}$.

Аналіз зображень гістологічних зрізів біологічних тканин здійснювався за допомогою поляризатора 9 та чвертьхвильової пластинки 8.

Елементи матриці Мюллера такого біологічного шару визначаються в такий спосіб:

- Послідовно опромінюємо біологічний шар лазерними пучками світла чотирьох різних типів

поляризації $\begin{pmatrix} \alpha_0 = 0^\circ \\ \alpha_0 = 90^\circ \\ \alpha_0 = 45^\circ \\ \beta_0 = 45^\circ \end{pmatrix}$ й одержуємо сукупність з 24 – х зображень шляхом поляризаційної фільтрації

$\begin{pmatrix} \Theta = 0^\circ \\ \Theta = 90^\circ \\ \Theta = 45^\circ \\ \Theta = 135^\circ \\ \Theta = \otimes \\ \Theta = \oplus \end{pmatrix}$ за допомогою чверть хвильової пластинки 8 і поляризатора – аналізатора 9 (рис. 1)

- По черзі згідно наступного алгоритму визначаємо координатні розподіли параметрів вектора Стокса

$$\begin{aligned} S_1 &= I_0 + I_{90}; \\ S_2 &= I_0 - I_{90}; \\ S_3 &= I_{45} - I_{135}; \\ S_4 &= I_{\otimes} - I_{\oplus}. \end{aligned} \quad (1)$$

- Елементи матриці Мюллера для об'єкта дослідження визначаються наступним чином

$$\begin{aligned} z_{11} &= 0,5(S_1^0 + S_1^{90}); \quad z_{21} = 0,5(S_2^0 + S_2^{90}); \quad z_{31} = 0,5(S_3^0 + S_3^{90}); \quad z_{41} = 0,5(S_4^0 + S_4^{90}); \\ z_{12} &= 0,5(S_1^0 - S_1^{90}); \quad z_{22} = 0,5(S_2^0 - S_2^{90}); \quad z_{32} = 0,5(S_3^0 - S_3^{90}); \quad z_{42} = 0,5(S_4^0 - S_4^{90}); \\ z_{13} &= S_1^{45} - z_{11}; \quad z_{23} = S_2^{45} - z_{21}; \quad z_{33} = S_3^{45} - z_{31}; \quad z_{43} = S_4^{45} - z_{41}; \\ z_{14} &= S_1^{\otimes} - z_{11}; \quad z_{24} = S_2^{\otimes} - z_{21}; \quad z_{34} = S_3^{\otimes} - z_{31}; \quad z_{44} = S_4^{\otimes} - z_{41}. \end{aligned} \quad (2)$$

У кожному з отриманих рівнянь невідомий елемент матриці Мюллера виражається через виміряні інтенсивності $I_{\Theta}^{(\alpha_0, \beta_0)}(m \times n)$ й розраховані раніше параметри вектора Стокса та елементи матриці Мюллера.

СТАТИСТИЧНІ, КОРЕЛЯЦІЙНІ І ФРАКТАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ МЮЛЛЕР-МАТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ БІОЛОГІЧНИХ ШАРІВ

Для кількісної оцінки розподілів $z_{ik}(X, Y)$ нами введена їх кількісна оцінка на основі визначення набору їх статистичних моментів 1-го – 4-го порядків [1]

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (|z_{ik}|)_j; \quad M_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (z_{ik}^2)_j}; \\ M_3 &= \frac{1}{M_2^3} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (z_{ik}^3)_j; \quad M_4 = \frac{1}{M_2^2} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (z_{ik}^4)_j, \end{aligned} \quad (3)$$

Для кількісної характеристики автокореляційних залежностей $K_{z_{ik}}(\Delta x)$ нами введена наступна група параметрів [1, 7, 8]:

- кореляційний моменти, який характеризують півширину і ступінь “гостроти” функції автокореляції

$$Q_2 = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (K_{z_{ik}}^2(\Delta x))_j}; \quad (4)$$

$$Q_4 = \frac{1}{Q_2^2} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (K_{z_{ik}}^4(\Delta x))_j. \quad (5)$$

Фрактальний аналіз розподілів станів поляризації z_{ik} зображень багат шарових двопротенезаломлюючих сіток полягає у такій послідовності дій [14]:

- розраховувалися автокореляційні функції $K_{z_{ik}}(\Delta x)$ і знаходилися відповідні спектри потужності $PSD(z_{ik})$ розподілів z_{ik} ;
- обчислювалися log-log залежності спектрів потужності $\log PSD(z_{ik}) - \log(v)$ розподілів випадкових величин z_{ik} і знаходилися (співвідношення (3)) спектральні статистичні моменти 1-го – 4-го порядків.

МЮЛЛЕР – МАТРИЧНІ ЗОБРАЖЕННЯ ДВОШАРОВОЇ СТРУКТУРИ “М’ЯЗОВА ТКАНИНА – ДЕРМА ШКІРИ”

В якості об’єктів експериментального дослідження використовувалися оптично-тонкі (коефіцієнт ослаблення $\tau \leq 0,1$) гістологічні криозрізи м’язової тканини (МТ) і дерми шкіри (ДШ). Методологічно подібний вибір об’єктів зумовлений тим, що архітектонічні сітки таких біологічних тканин, сформовані оптико анізотропними протеїновими (колаген і міозин) фібрилами - пучками з близькими за значенням показниками двопронезаломлення $\Delta n(ДШ) \approx 1.25 \times 10^{-3}$ і $\Delta n(МТ) \approx 1.55 \times 10^{-3}$. Геометричні параметри сіток біологічних кристалів таких тканин істотно розрізняються. Архітектоніка МТ впорядкована - оптичні осі міозинових фібрил переважно прямолінійні. Для кристалічної складової шару ДШ - оптичні осі двопронезаломлюючих колагенових фібрил криволінійні.

На серії рис. 2 – рис. 3 (а, б) приведені координатні розподіли елементів матриці Мюллера гістологічних зрізів м’язової тканини (рис. 2), дерми шкіри (рис. 3а), двошарової структури “МТ - ДШ” (рис. 3б), автокореляційні функції і спектри потужності відповідних розподілів $z_{ik}(m \times n)$, а також сукупність їх статистичних $M_{i=1;2;3;4}$, кореляційних $Q_{2;4}$ і спектральних $J_{i=1;2;3;4}$ статистичних моментів (таблиці 1– 3).

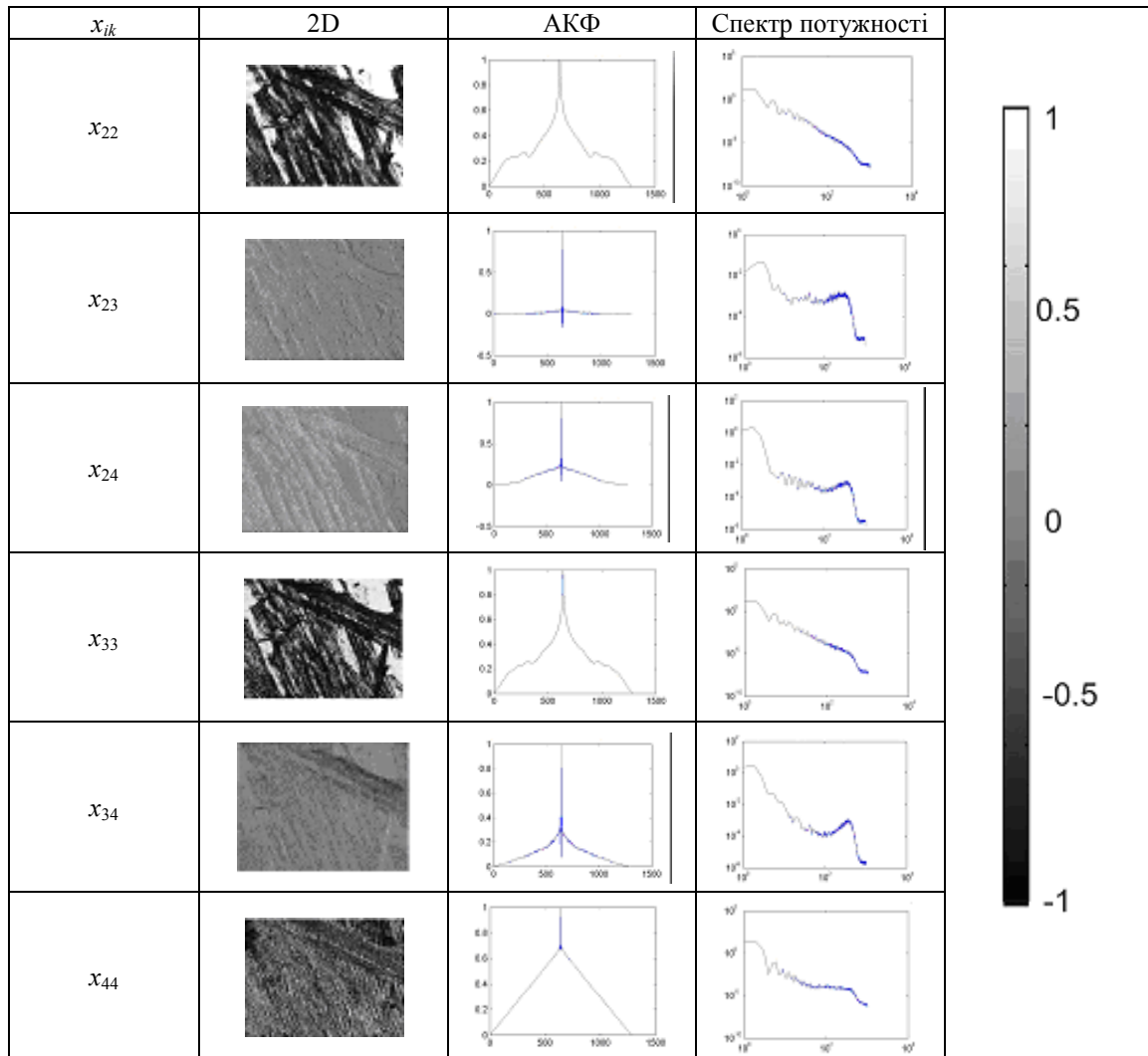


Рис. 2. Координатні розподіли елементів матриці Мюллера м’язової тканини, автокореляційні функції $K_{ik}(\Delta x)$ і логарифмічні залежності $\log W_{ik} - \log l^{-1}$ спектрів потужності $x_{ik}(m \times n)$

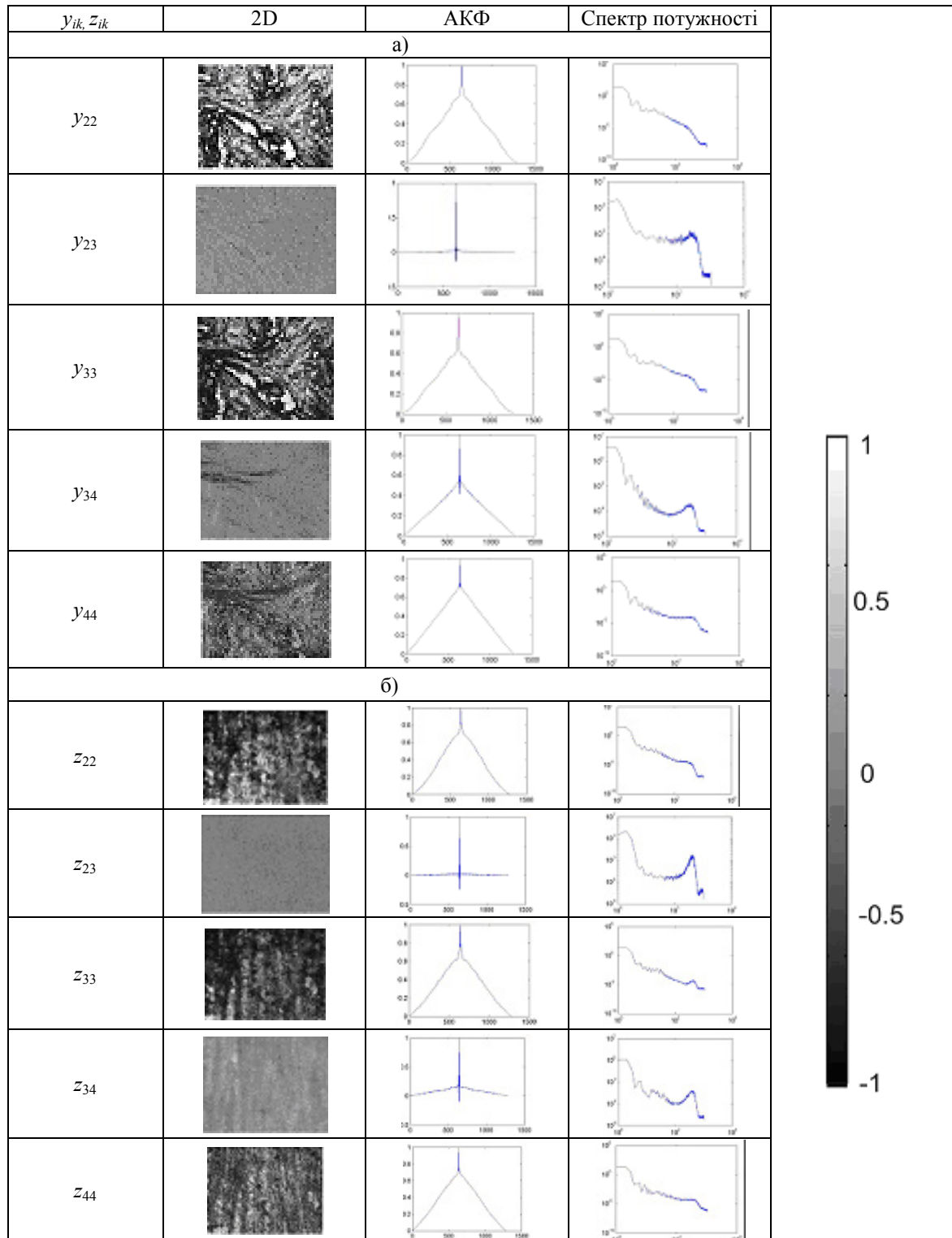


Рис. 3. Координатні розподіли елементів матриці Мюллера, автокореляційні функції $K_{ik}(\Delta x)$ і логарифмічні залежності $\log W_{ik} - \log l^{-1}$ спектрів потужності $y_{ik}(m \times n)$, $z_{ik}(m \times n)$:
а) тканини дерми шкіри, б) двошарової структури “м’язова тканина – дерма шкіри”

Таблиця 1.

Статистичні M_i , кореляційні Q_i і спектральні J_i моменти координатних розподілів $x_{ik}(m \times n)$ елементів матриці Мюллера шару м'язової тканини

x_{ik}	x_{22}	x_{23}	x_{24}	x_{33}	x_{34}	x_{44}
M_1	0,29	0,02	0,09	0,33	0,1	0,23
M_2	0,08	0,03	0,05	0,09	0,05	0,06
M_3	0,45	0,38	0,39	0,43	0,71	0,23
M_4	5,51	1,73	3,79	1,19	6,84	1,05
Q_2	0,16	0,019	0,011	0,18	0,09	0,12
Q_4	0,99	5,71	6,18	1,17	3,85	1,87
J_1	0,51	0,18	0,23	0,55	0,26	0,62
J_2	0,17	0,57	0,66	0,19	0,44	0,29
J_3	0,06	0,86	0,91	0,08	0,59	0,11
J_4	0,13	1,54	1,75	0,16	0,77	0,28

Таблиця 2.

Статистичні M_i , кореляційні Q_i і спектральні J_i моменти координатних розподілів $y_{ik}(m \times n)$ елементів матриці Мюллера шару тканини дерми шкіри

y_{ik}	y_{22}	y_{23}	y_{24}	y_{33}	y_{34}	y_{44}
M_1	0,39	0,01	0,01	0,34	0,21	0,37
M_2	0,07	0,02	0,04	0,08	0,04	0,06
M_3	0,17	0,03	0,13	0,52	0,77	0,22
M_4	7,51	4,61	5,08	3,33	1,11	1,78
Q_2	0,21	0,001	0,0013	0,22	0,12	0,18
Q_4	0,78	4,87	5,51	0,89	1,48	1,18
J_1	0,62	0,24	0,32	0,67	0,37	0,68
J_2	0,14	0,53	0,61	0,15	0,41	0,23
J_3	0,09	0,78	0,97	0,012	0,65	0,18
J_4	0,42	2,05	2,34	0,33	0,84	0,53

Таблиця 3.

Статистичні M_i , кореляційні Q_i і спектральні J_i моменти координатних розподілів $z_{ik}(m \times n)$ елементів матриці Мюллера двошарової тканини “м’язова тканина – дерма шкіри”

z_{ik}	z_{22}	z_{23}	z_{24}	z_{33}	z_{34}	z_{44}
M_1	0,31	0,03	0,05	0,25	0,11	0,38
M_2	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06
M_3	0,49	0,44	0,53	0,42	0,33	0,33
M_4	2,12	1,79	0,89	2,32	0,36	0,48
Q_2	0,19	0,031	0,025	0,21	0,11	0,15
Q_4	0,83	3,97	4,31	0,87	2,48	1,26
J_1	0,48	0,15	0,2	0,51	0,22	0,53
J_2	0,19	0,54	0,61	0,17	0,39	0,23
J_3	0,06	0,82	0,78	0,07	0,52	0,1
J_4	0,11	1,15	1,27	0,13	0,68	0,22

М’язова тканина. Статистичні моменти $M^{(i)}$, які описують координатні розподіли Мюллер – матричних зображень, мають індивідуальні значення. Найбільш чутливими (за діапазоном зміни величини) до фазових або орієнтаційних механізмів перетворення параметрів лазерного випромінювання двопротенезаломлюючою сіткою міозинових фібрил є 3-й та 4-й статистичний моменти.

Кореляційна структура координатних розподілів всіх елементів матриці Мюллера гістологічного зрізу м’язової тканини складається з випадкової (монотонно спадаючі залежності $K_{ik}(\Delta x)$) та стохастичної (осциляції відносних значень $K_{ik}(\Delta x)$) [1, 7]. Півширина L автокореляційних функцій $K_{ik}(\Delta x)$ прямо пропорційна величині середнього $M_{ik}^{(1)}$ і обернено пропорційна дисперсії $M_{ik}^{(2)}$. Сукупність кореляційних моментів $Q_{i=2,3,4}$ виразно залежить від особливостей кореляційної узгодженості координатної побудови розподілів матричних елементів $x_{ik}(m \times n)$. Так, чим більша півширина $L \uparrow$ автокореляційних функцій діагональних елементів $x_{22;33;44}(m \times n)$, тим вищі значення $Q_2 \uparrow$. Навпаки, чим більша кореляційна розузгодженість ($L \downarrow$) розподілів недиагональних матричних елементів $x_{23;32;34;43;24;42}(m \times n)$ тим вищі значення кореляційних моментів і 4-го ($Q_4 \uparrow$) порядків. Причому, такі зміни супроводжуються надзвичайно великим динамічним діапазоном зміни кореляційних моментів – від 5 до 10 раз (таблиця 1).

Спектри потужності (Log – log залежності спектрів потужності) Мюллер – матричних зображень діагональних елементів $f_{ik}(X, Y)$ характеризуються двома нахилами апроксимуючої кривої. Для координатних розподілів значень недиагональних матричних елементів $x_{ik;i \neq k}(m \times n)$ відповідні залежності трансформуються у криві лінії.

Установлена висока діагностична чутливість 2-го спектрального моменту до зміни самоподібності координатних розподілів елементів матриці Мюллера $x_{ik}(m \times n)$ гістологічного зрізу тканини м’яза – відмінності між значеннями спектрального моменту J_2 , обчисленого для діагональних і недиагональних матричних елементів лежать у межах 3 – 4 разів (таблиця 1).

Дерма шкіри. Статистичні моменти $M^{(i)}$, які описують координатні розподіли елементів матриці Мюллера дермального шару, характеризуються більшими значеннями середнього ($M^{(1)}$) та ексцесу ($M^{(4)}$) діагональних елементів $y_{ik;i=k}(m \times n)$ у порівнянні з аналогічними статистичними параметрами Мюллер - матричних зображень шару МТ. У відповідності з цим автокореляційні функції $K_{ik}(\Delta x)$, експериментально виміряних координатних розподілів елементів матриці Мюллера шару дерми шкіри, характеризуються більшою півшириною і мало виразними осциляціями.

Кількісні статистичні M_i , кореляційні Q_i і спектральні J_i моменти, що характеризують розподіли $y_{ik}(m \times n)$ і залежності $K_{ik}(\Delta x)$ та $\text{Log}W(x_{ik}) - \log I^{-1}$ гістологічного зрізу ДШ володіють індивідуальними (таблиця 2), відмінними від аналогічних параметрів, визначених для МТ (таблиця 1).

Двошарова “МТ - ДШ” біологічна тканина. Величини статистичних $M_{ik}^{(j=1;2;3;4)}$, кореляційних $Q_{ik}^{(j=2;4)}$ і спектральних $J_{ik}^{(j=1;2;3;4)}$ моментів всіх Мюллер – матричних зображень $z_{ik}(m \times n)$ даного біологічного об’єкту (таблиця 3) мають проміжні значення між відповідними кількісними параметрами (таблиця 1 і таблиця 2) координатних розподілів елементів матриці Мюллера парціальних шарів МТ ($x_{ik}(m \times n)$) і ДШ ($y_{ik}(m \times n)$).

Апроксимуючі криві $\text{Log} - \log$ залежностей спектрів потужності Мюллер – матричних зображень діагональних елементів володіють двома характеристичними нахилами, які відповідають нахилу таких залежностей для МТ.

ВИСНОВКИ

На основі запропонованого Мюллер–матричного описання поляризаційних властивостей багатошарових полікристалічних мереж протеїнових кристалів із ймовірно розподіленими напрямками оптичних осей та двопронезаломленням [1] експериментально (на прикладі комбінації гістологічних зрізів реальних біологічних тканин – дерми шкіри та м’язової тканини, тканини шийки матки) підтверджена її адекватність і продемонстрована можливість вектор – параметричної діагностики орієнтаційно – фазової побудови оптико – анізотропної сітки одного з парціальних шарів.

На основі комплексного статистичного, кореляційного і фрактального підходу [1-8, 14] до аналізу Мюллер– матричних зображень багатошарових біологічних тканин виявлено взаємозв’язки між тенденціями зміни величин набору статистичних, кореляційних і фрактальних параметрів, які характеризують розподіли азимутів і еліптичності поляризації, і особливостями побудови двопронезаломлюючих сіток. Виявлено статистичні критерії Мюллер - матричної диференціації оптичних властивостей багатошарових біологічних тканин.

Таким чином, можна констатувати, що методи прямого Мюллер – матричного картографування двошарових біологічних тканин або тканин органів людини різної морфологічної будови і фізіологічного стану можуть бути використанні для диференціації здорового і онкологічного (на клінічно діагностованому етапі патологічних змін) станів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Заболотна Н.І. Моделювання та аналіз Мюллер-матричних зображень багатошарових полікристалічних мереж з детермінованими розподілами орієнтаційних та фазових параметрів / Н.І. Заболотна, В.В. Шолота, Ю.Ю.Левандовська, О.Д. Вербовета // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2011. – №1. – С. 82-92.
2. Wang X. Propagation of polarized light in birefringent turbid media: a Monte Carlo study / X. Wang, L. - H. Wang // J. Biomed. Opt. – 2002. – Vol. 7. – P. 279-290.
3. Gang Yao. Two-dimensional depth-resolved Mueller matrix characterization of biological tissue by optical coherence tomography / Gang Yao, Lihong V. Wang // Opt. Lett. – 1999. – Vol. 24. – P. 537-539.
4. Shuliang Jiao. Depth-resolved two-dimensional Stokes vectors of backscattered light and Mueller matrices of biological tissue measured with optical coherence tomography / Shuliang Jiao, Gang Yao, Lihong V. Wang // Appl. Opt. – 2000. – Vol. 39. – P. 6318-6324.
5. Shuliang Jiao. Two-dimensional depth-resolved Mueller matrix of biological tissue measured with double-beam polarization-sensitive optical coherence tomography / Shuliang Jiao, Lihong V. Wang // Opt. Lett. – 2002. – Vol. 27. – P. 101-103.

6. Ушенко О. Г. Лазерна поляриметрія світлорозсіюючих об'єктів і середовищ: дис. ... доктора фіз.-мат. наук : 01.04.05 / Ушенко Олександр Григорович. – Чернівці, 2001. – 334 с.
7. Angelsky O.V. Statistical and Fractal Structure of Biological Tissue Mueller Matrix Images / O.V. Angelsky, A.G. Ushenko, Yu. A. Ushenko, V.P. Pishak // Optical Correlation Techniques and Applications; edited Oleg V. Angelsky – Washington: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2007 - P. 213-266.
8. Angelsky O.V. Statistical, Correlation, and Topological Approaches in Diagnostics of the Structure and Physiological State of Birefringent Biological Tissues / O.V. Angelsky, A.G. Ushenko, Yu.A. Ushenko, V.P. Pishak, and A.P. Peresunko // Handbook of Photonics for Biomedical Science; editor Valery V. Tuchin - USA: CRC Press, 2010. - P. 21-67.
9. Ushenko A.G. Evolution of Statistic Moments of 2D-Distributions of Biological Liquid Crystal Net Mueller Matrix Elements in the Process of Their Birefringent Structure Changes / A.G. Ushenko, I. Z.Misevich, V. Istratiy, I. Bachyns'ka, A. P. Peresunko, Omar Kamal Numan, and T. G. Moysuk // Advances in Optical Technologies. – 2010. – Article ID 423145.
10. Ушенко О.Г. Мюллер-матрична двовимірна томографія багатопарових полікристалічних мереж біологічних тканин і рідин / О.Г.Ушенко, Н.І.Заболотна // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології.-2010. – №2(20). – С.156-162.
11. Заболотна Н.І. Аналітичні основи двовимірної Мюллер-матричної томографії оптично товстих багатопарових біологічних тканин. Кореляційний і фрактальний підходи // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (м. Хмельницький). – 2010. – №2. – С.157-163
12. Ushenko A.G. Laser polarimetry of the orientation structure of bone tissue osteons / A.G. Ushenko, S.B. Ermolenko, D.N. Burkovets, Yu. A. Ushenko // Journal of Applied Spectroscopy. – 2000. – Vol. 67(1) – P. 65-69.
13. Ushenko A.G. The Vector Structure of Laser Biospeckle Fields and Polarization Diagnostics of Collagen Skin Structures / A.G. Ushenko // Laser Physics. – 2000. - Vol. 10(5). - P. 1143-1149.
14. Angelsky O.V. Fractal structure of 2D Mueller matrix images of biotissues / O.V. Angelsky, A.G. Ushenko, Yu.A. Ushenko, A.O. Angelskaya // Ukrainian Journal of Physical Optics. – 2004. -Vol. 6(1). - P.13-23.

Надійшла до редакції 11.12.2013р

ЗАБОЛОТНА НАТАЛІЯ ІВАНІВНА – к.т.н., доцент кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

РАДЧЕНКО КОСТЯНТИН ОЛЕГОВИЧ - магістрант кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

КОСТЮК СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ – здобувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

УДК 519.254: 681.7.069.24: 612.15

С.В. ПАВЛОВ¹, С.В. САНДЕР², Т.І. КОЗЛОВСЬКА¹

ОЦІНЮВАННЯ РОЗХОДЖЕННЯ МІЖ ЕМПІРИЧНИМ ТА ТЕОРЕТИЧНИМ РОЗПОДІЛАМИ КРОВОНАПОВНЕННЯ НИЖНІХ КІНЦІВОК ЗА ДОПОМОГОЮ КРИТЕРІЮ ПІРСОНА

¹Вінницький національний технічний університет,
21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна
E-mail: psv@vstu.vinnica.ua

²Вінницький національний медичний університет,
кафедра загальної хірургії,
21018, вул. Пирогова, 56, м. Вінниця, Україна

Анотація. В статті проведено статистичний аналіз отриманих даних при дослідженні кровонаповнення нижніх кінцівок хворих на ішемію. Також проведено оцінювання розходження між емпіричним та теоретичним розподілами кровонаповнення нижніх кінцівок за допомогою критерію Пірсона.

Ключові слова: окклюзуючі захворювання артерій нижніх кінцівок, стопо-кистевий коефіцієнт, гіпотеза, критерій Пірсона.

Аннотация. В статье проведен статистический анализ полученных данных при исследовании периферического кровообращения нижних конечностей больных на ишемию. Также проведена оценка расхождения между эмпирическим и теоретическим распределениями кровенаполнения нижних конечностей с помощью критерия Пирсона.

Ключевые слова: окклюзионные заболевания артерий нижних конечностей, стопо-кистевой коэффициент, гипотеза, критерий Пирсона.

Abstract. A statistical analysis of the research results, when examining patients with chronic lower limb ischemia was made in the paper. Estimation of variance between empirical and theoretical distributions of blood flow of the lower extremities using Pearson's criterion was made too.

Keywords: occlusive disease of lower extremity arteries, foot-hand coefficient, hypothesis, Pearson's criterion.

ВСТУП

Застосування статистики при проведенні біомедичних досліджень є одним з інструментів аналізу експериментальних даних і клінічних спостережень, а також мовою, з допомогою якої повідомляються отримані математичні результати. Однак, це не єдине завдання статистики в медицині, математичний апарат широко застосовується в діагностичних цілях, вирішенні класифікаційних завдань і пошуку нових закономірностей, для постановки нових наукових гіпотез. Статистична гіпотеза являє собою певне припущення про закон розподілу випадкової величини чи про параметри цього закону, що формулюється на основі вибірки [1–4]. При перевірці гіпотез використовується ряд теоретичних законів розподілу. Найбільш важливим серед них є нормальний закон розподілу. З ним пов'язані розподіли χ^2 , Стюдента, Фішера, а також інтеграл імовірностей. Для вказаних законів функції розподілу аналітично не представляються. Значення функцій визначаються по таблицям або із використанням стандартних процедур прикладних програм.

Зазвичай суть перевірки гіпотези про закон розподілу експериментальних даних полягає в наступному. Існує вибірка експериментальних даних фіксованого об'єму, вибраний, або відомий вид закону розподілу генеральної сукупності. Необхідно оцінити по цій вибірці параметри закону, визначити ступінь узгодженості експериментальних даних і вибраного закону розподілу, в якому параметри замінені їх оцінками.

Ефективним для оцінювання розходження між емпіричним та теоретичним розподілами є застосування критерію Пірсона, що базується на застосуванні такої міри розходження між статистичним

і емпіричним розподілом, що наближено підпорядковується закону розподілу χ^2 . Доцільність використання критерію залежить від кількості розрядів та об'єму вибірки. Критерій рекомендується застосовувати при $n > 200$, допускається застосування при $n > 40$ [1].

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Було обстежено 120 пацієнтів. Субкомпенсовану ішемію було діагностовано у 34 хворих, декомпенсовану – у 47. Контрольну групу становили 39 осіб без ознак облітеруючих захворювань артерій нижніх кінцівок. Вік обстежених становив 18 – 82 років. В якості досліджуваної величини було використано стопо-кистовий коефіцієнт (СКК), %, що дорівнює відношенню кровонаповнення хворої кінцівки до кровонаповнення здорової [5, 6]. Обстеження проводилось фізикальне та за допомогою методу фотоплетизмографії. Останній дозволив оцінити мікроциркуляцію (місцевий кровообіг) у ділянці дослідження. Визначали характер плинку крові на основі отриманої фотоплетизмограми (пульсуючий високоамплітудний (рис. 1, а), пульсуючий низькоамплітудний (рис. 1, б), непульсуючий (рис. 1, в)) [6-10].

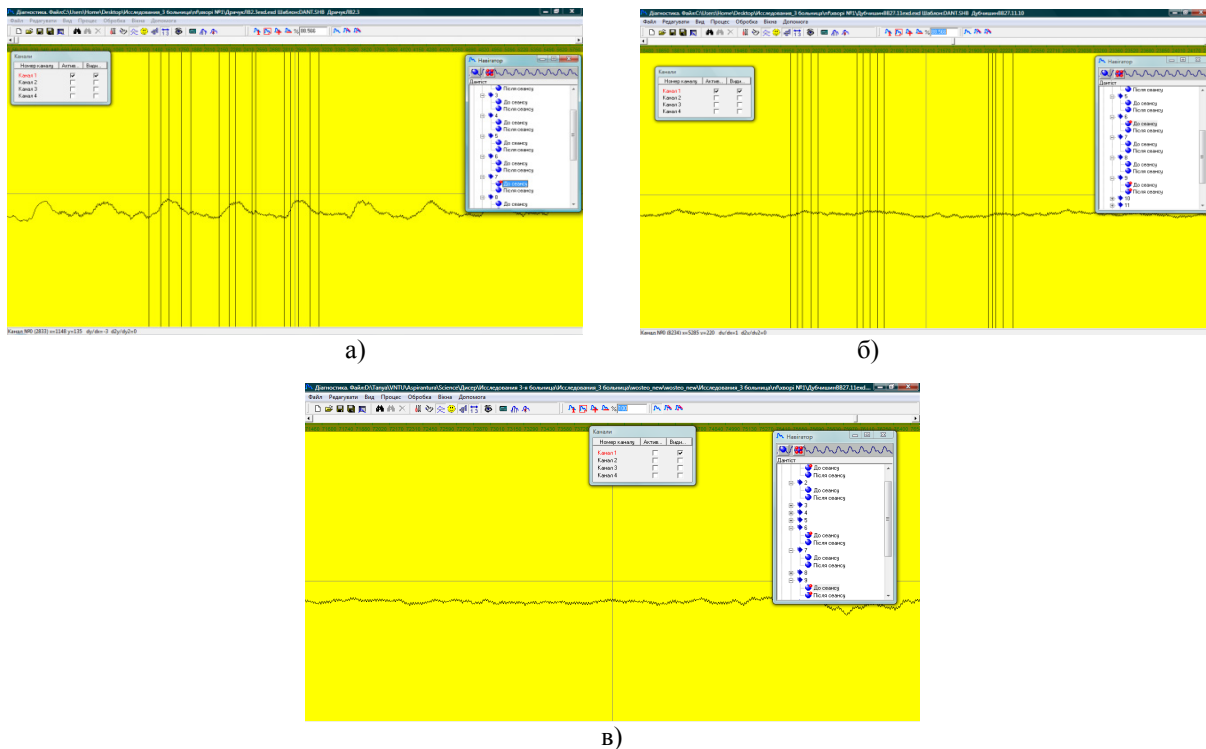


Рис. 1. Визначення характеру плинку крові: а) – пульсуючий високоамплітудний; б) – пульсуючий низькоамплітудний; в) – непульсуючий

Застосування методу фотоплетизмографії обґрунтоване тим, що він дозволяє застосовувати безконтактні сенсори, в результаті чого не відбувається стиснення судин і це виключає порушення кровообігу в досліджуваній ділянці. Даний метод базується на фотоелектричному вимірюванні як пройденого так і відбитого випромінювання світла в червоному та інфрачервоному діапазонах і використовується у більшості випадків при судинних захворюваннях для об'єктивної оцінки стану і ступеню порушень регіонарного кровотоку, тону судин, для контролю ефективності лікування, вживаного із подальшими лазерними та фотонними методами відновлення функції судин, для диференціального діагностування органічних і функціональних захворювань судин [5-6].

На підставі отриманих даних була проведена перевірка гіпотези про нормальний розподіл рівня кровонаповнення по даним інтервального варіаційного ряду. Результати проведених вимірювань було розподілено по інтервалам і занесено до табл. 1.

1. Визначення середнього вибіркового і вибіркової дисперсії величини x .

В результаті спостережень отримано n значень x , розподілених по k -інтервалам $x_1 \dots x_2, x_2 \dots x_3, \dots, x_k \dots x_{k+1}$. Кількість чоловік на кожному інтервалі було позначено через $n_1, n_2, \dots, n_k$, і отримані дані представлено у вигляді ряду (табл. 2) В якості середнього інтервалу був вибраний інтервал 40-50 та присвоєно йому індекс 0, інтервалу 50-60 – індекс $i = 1$, інтервалу 30-40 – індекс $i = -1$, і т.д. (табл. 3)

Тоді середнє вибіркове $\bar{x}$ та вибіркова дисперсія σ_x^{*2} визначаються за формулами

$$\bar{x} = a_x + \Delta x \bar{i}; \quad (1)$$

$$\sigma_x^{*2} = (\Delta x)^2 \sigma_{(i)}^{*2}, \quad (2)$$

$\Delta x = x_{i+1} - x_i$ – довжина інтервалу; a_x – умовне середнє значення x , що відповідає центру середнього інтервалу.

Таблиця 1.

Значення СКК на певному інтервалі

№п/п	СКК, %	Кількість чоловік, що входить в даний інтервал
1	0-10	27
2	10-20	24
3	20-30	23
4	30-40	16
5	40-50	8
6	50-60	7
7	60-70	6
8	70-80	5
9	80-90	4

Таблиця 2.

Представлення даних у вигляді ряду

x	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90
n_i	27	24	23	16	8	7	6	5	4

Таблиця 3.

Присвоєння індексу для кожного інтервалу

i	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
n_i	27	24	23	16	8	7	6	5	4

Підставивши числові значення, було отримано:

$$\bar{i} = \frac{1}{120} \cdot (-4 \cdot 27 - 3 \cdot 24 - 2 \cdot 23 - 1 \cdot 16 + 0 \cdot 8 + 1 \cdot 7 + 2 \cdot 6 + 3 \cdot 5 + 4 \cdot 4) = -1,6;$$

$$\sigma_{(i)}^{*2} = \frac{1}{120} \cdot (27 \cdot 16 + 24 \cdot 9 + 23 \cdot 4 + 16 \cdot 1 + 8 \cdot 0 + 7 \cdot 1 + 6 \cdot 4 + 5 \cdot 9 + 4 \cdot 16) - 1,6^2 = 4,907.$$

$$\bar{x} = 45 + 10 \cdot (-1,6) = 29;$$

$$\sigma_x^{*2} = (10)^2 \cdot 4,907 = 490,$$

$$\sigma_x^* = \sqrt{490} = 22,15.$$

$$\bar{i} = \frac{1}{n} \sum_i n_i i; \sigma_{(i)}^{*2} = \frac{1}{n} \sum_i n_i i^2 - \bar{i}^2. \quad (3)$$

2. Визначення імовірності p_i для окремих інтервалів ряду.

Прирівнявши параметри теоретичного нормального розподілу $M(x)$ і σ_x^* , отримано

$$F(x) = \Phi_1\left(\frac{x - \bar{x}}{\sigma_x^*}\right) = \Phi_1\left(\frac{x - 29}{22,15}\right), \quad (4)$$

де $\Phi_1(x)$ – функція нормального розподілу.

Відповідно до властивостей нормального розподілу, при визначенні імовірностей P_i , нижню границю першого інтервалу вважають рівною $-\infty$, а верхню границю останнього інтервалу вважають рівною $+\infty$.

$$p_i = F(x_{i+1}) - F(x_i), \text{ де } F(x_{i+1}), \quad (5)$$

де $F(x_i)$ – значення теоретичної функції розподілу в точках x_{i+1} і x_i .

$$\begin{aligned} p_1 &= \Phi_1\left(\frac{10-29}{22,15}\right) - \Phi_1\left(\frac{-\infty-29}{22,15}\right) = \Phi_1(-0,85) - \Phi_1(-\infty) = 0,195 - 0 = 0,195; \\ p_2 &= \Phi_1\left(\frac{20-29}{22,15}\right) - \Phi_1\left(\frac{10-29}{22,15}\right) = \Phi_1(-0,406) - \Phi_1(-0,85) = 0,345 - 0,195 = 0,15; \\ p_3 &= \Phi_1\left(\frac{30-29}{22,15}\right) - \Phi_1\left(\frac{20-29}{22,15}\right) = \Phi_1(0,045) - \Phi_1(-0,406) = 0,516 - 0,345 = 0,171; \\ p_4 &= \Phi_1\left(\frac{40-29}{22,15}\right) - \Phi_1\left(\frac{30-29}{22,15}\right) = \Phi_1(0,49) - \Phi_1(0,045) = 0,688 - 0,516 = 0,172; \\ p_5 &= \Phi_1\left(\frac{50-29}{22,15}\right) - \Phi_1\left(\frac{40-29}{22,15}\right) = \Phi_1(0,948) - \Phi_1(0,49) = 0,829 - 0,688 = 0,141; \\ p_6 &= \Phi_1\left(\frac{60-29}{22,15}\right) - \Phi_1\left(\frac{50-29}{22,15}\right) = \Phi_1(1,4) - \Phi_1(0,948) = 0,919 - 0,829 = 0,09; \\ p_7 &= \Phi_1\left(\frac{70-29}{22,15}\right) - \Phi_1\left(\frac{60-29}{22,15}\right) = \Phi_1(1,851) - \Phi_1(1,4) = 0,968 - 0,919 = 0,049; \\ p_8 &= \Phi_1\left(\frac{80-29}{22,15}\right) - \Phi_1\left(\frac{70-29}{22,15}\right) = \Phi_1(2,302) - \Phi_1(1,851) = 0,989 - 0,968 = 0,021; \\ p_9 &= \Phi_1\left(\frac{\infty-29}{22,15}\right) - \Phi_1\left(\frac{80-29}{22,15}\right) = \Phi_1(\infty) - \Phi_1(2,302) = 0,011. \end{aligned}$$

Результати розрахунків занесено в табл. 4

Таблиця 4.

Проміжні результати розрахунків

$x, \%$	n_i	p_i	np_i	$n_i - np_i$	$(n_i - np_i)^2$	$\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$
$-\infty \dots 10$	27	0,195	23,4	3,6	12,96	0,554
10...20	24	0,15	18	6	36	2
20...30	23	0,171	20,52	2,48	6,15	0,3
30...40	16	0,172	20,64	-4,64	21,53	1,043
40...50	8	0,141	16,92	-8,92	79,56	4,703
50...60	7	0,09	10,8	-3,8	14,44	1,337
60...70	6	0,049	5,88	0,12	0,014	0,002
70...80	5	0,021	2,52	2,48	6,15	2,441
80... ∞	4	0,011	1,32	2,68	7,182	5,441

$$U = \sum_{i=1}^n \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} = 17,821. \text{ Отже } \chi^2 = U = 17,821.$$

3. Визначення числа ступенів свободи величини χ^2 : $n' = k - s = 9 - 2 = 7$

ВИСНОВКИ

По таблиці [11] для $\chi^2 = 17,821$ при $n' = 7$, $0,05 < p < 0,01$. Отримана імовірність досить мала. Це пояснюється тим, що в інтервалі від 10 до 40 зосереджена більша частина обстежуваних пацієнтів, далі, зі зростанням інтервалу, кількість пацієнтів суттєво зменшується, оскільки майже у всіх обстежуваних спостерігалася хоча б незначне, але порушення периферичного кровообігу нижніх кінцівок, крім того у переважної більшості спостерігалася декомпенсація регіонарного кровообігу. Саме тому, результати спостережень не узгоджуються з гіпотезою про нормальний розподіл рівня кровонаповнення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ходасевич Г. Б. Обработка экспериментальных данных на ЭВМ [Текст] : учеб. пособие / Г. Б. Ходасевич. – СПб. СПбГТУ, 2002. Ч. 1 : Обработка одномерных данных. – 82 с.
2. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / Гмурман В. Е. [9-е изд., стер.] — М.: Высшая школа, 2003.— 479 с.
3. Елисеева И. И., Юзбашев М. М. Общая теория статистики. – М.: Финансы и статистика, 1999.
4. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Политехника, 2000. — 179 с.
5. Фізичні основи біомедичної оптики : монографія / [Павлов С. В., Кожем'яко В. П., Колісник П. Ф. та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 152 с. – ISBN 978-966-641-383-6.
6. Laser photoplethysmography in integrated evaluation of collateral circulation of lower extremities / [S. V. Pavlov, S. V. Sander, T. I. Kozlovska, A. S. Kaminsky, W. Wojcik, M. Sh. Junisbekov] // Optical Fibers and Their Applications 2012 9–12 October 2012 Lublin and Nałęczów, Poland, Volume 8698. – 6 p.
7. Оцінювання периферичного кровообігу нижніх кінцівок за допомогою лазерної фотоплетизмографії / С. В. Павлов, С. В. Сандер, Т. І. Козловська // Матеріали XXXVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Применение лазеров в медицине и биологии». г. Ялта, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, 3-6 октября 2012 г., с. 53.
8. Гуч А. А. Факторы развития хронической артериальной недостаточности при сочетанных поражениях брюшной части аорты и периферических артерий // Хірургія України. - 2002. - № 2. - С. 74-75.
9. Гуч А. А., Клименко И. Т., Влайков Г. Г., Шувалова И. Н. Изменения регионарной гемодинамики и микроциркуляции в тканях нижних конечностей у больных с облитерирующим атеросклерозом в I-II ст // Кліні хірургія- 2003- № 6- С. 25-27
10. Діагностика та лікування хронічної критичної ішемії нижніх кінцівок, поєднаної з мультифокальним атеросклерозом. Метод рекомендації. / В. Г. Мішалов, М. П. Бойчак, В. А. Черняк, А. Ю. Гладка, В. М. Селюк, Б. М. Коваль// К.:2007. – 62 с.
11. Минцер О. П. Методы обработки медицинской информации : Учеб. пособие / Минцер О. П., Угаров Б. Н., Власов В. В. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк, 1991. – 271 с.

Надійшла до редакції 11.11.2013 р.

ПАВЛОВ С. В. – д.т.н., професор, завідувач кафедри загальної фізики та фотоніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

САНДЕР С. В. – к.т.н., доцент, завідувач кафедри загальної хірургії, Вінницький національний медичний університет, м. Вінниця, Україна.

КОЗЛОВСЬКА Т. І. – к.т.н., ст. викл. кафедри загальної фізики та фотоніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

УДК 681.587.72

О.М. ХАЛІМОВСЬКИЙ¹, В.І. ЧЕГЕЛЬ², В.К. ЛИТВИН², А.М. ЛОПАТИНСЬКИЙ²

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОШУКУ МАКСИМУМУ ІНТЕНСИВНОСТІ ФЛЮОРЕСЦЕНТНОГО СИГНАЛУ ПРИ ТЕСТУВАННІ СТРУКТУР БІОЛОГІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

¹*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»*

²*Інститут фізики напівпровідників
ім. В. Є. Лашкарьова НАН України*

Анотація. На основі експериментальних досліджень визначена залежність точності вимірювання інтенсивності перевипроміненого світла від часу експозиції для максимальної інтенсивності флюоресцентного сигналу. Сформульовані вимоги, щодо точності позиціонування валу п'єзоелектричного двигуна при розробці алгоритму роботи системи пошуку екстремуму.

Ключові слова: флюоресценція, локалізований поверхневий плазмонний резонанс, час експозиції, п'єзоелектричний двигун, точність позиціонування.

ВСТУП

Для ідентифікації та дослідження біологічних матеріалів, а також у медичній діагностиці широко використовуються оптичні методи на основі явища флюоресценції [1, 2]. При розробці та використанні оптичних пристроїв діагностики необхідно для забезпечення можливості реєстрації слабких оптичних сигналів підвищувати чутливість флюоресцентних методів. Використання методу поверхнево-підсиленої флюоресценції, який базується на використанні явища локалізованого поверхневого плазмонного резонансу у високопровідних металевих наноструктурах [3], для забезпечення ефективного збудження флюоресценції потребує спеціальних умов освітлення зразка. Такі умови, зокрема, визначаються кутом падіння світла.

Для виконання досліджень при тестуванні біологічних матеріалів та наноструктур в автоматичному режимі пропонується застосування системи, що забезпечує виконання задачі вимірювання інтенсивності перевипроміненого світла та пошуку кута падіння світла для максимальної інтенсивності флюоресцентного сигналу. Зміна кута падіння світла забезпечується системою пошуку екстремуму з приводом на основі п'єзоелектричного двигуна. Застосування системи пошуку максимуму інтенсивності флюоресцентного сигналу, при заданому значенні точності її вимірювання, вимагає розробки алгоритму функціонування з урахуванням вимог щодо точності позиціонування валу двигуна.

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕНЬ

При автоматичному пошуку максимуму інтенсивності флюоресцентного сигналу шляхом зміни кута падіння світла виникає задача забезпечення достатньої точності позиціонування при вимірюванні максимуму інтенсивності перевипроміненого світла. У зв'язку з цим необхідно сформулювати вимоги необхідні для керування рухом п'єзоелектричного двигуна у відповідності до стратегії вимірювання інтенсивності флюоресцентного сигналу в автоматичному режимі [4].

Для визначення цих вимог виникла необхідність проведення експериментальних досліджень для визначення залежності погрішності вимірювань від часу експозиції спектрометра. В якості модельної системи було обрано розчин барвника родаміну 6Ж з довжиною хвилі збудження, що відповідає довжині хвилі ($\lambda=532$ нм) лазерного випромінювача. Результати вимірювання спектрів флюоресценції водного розчину родаміну 6Ж концентрацією 10^{-5} моль/л при змінному часі експозиції спектрометра (від 2,5 мс до 100 мс) представлені на рисунку 1а. Відповідні кінетичні залежності нормованої інтенсивності флюоресценції на довжині хвилі 560 нм, що відповідає максимальній флюоресценції родаміну 6Ж,

представлені на рисунку 1б.

Використання залежності відносних значень погрішності вимірювання інтенсивності флюоресценції від часу експозиції (рисунок 2а) визначає час експозиції для забезпечення необхідної точності вимірювань. Це в свою чергу дозволяє сформулювати вимоги щодо точності позиціювання напрямку променя лазера та, відповідно, валу двигуна. Точність позиціювання валу двигуна ($\varphi_{\text{поз}}$) залежить від його швидкості обертання ($\omega_{\text{дв}}$). За результатами експериментальних досліджень [5] точність позиціювання практично лінійно залежить від швидкості двигуна.

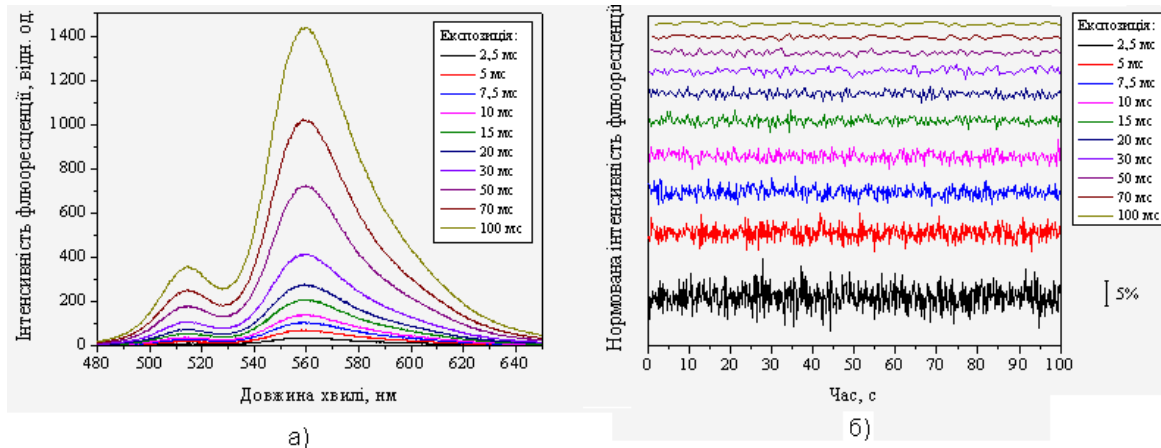


Рис. 1. а) спектри флюоресценції водного розчину родаміну 6Ж концентрацією 10^{-5} моль/л при експозиції спектрометра від 2,5 мс до 100 мс; б) кінетичні залежності нормованої інтенсивності флюоресценції водного розчину родаміну 6Ж концентрацією 10^{-5} моль/л на довжині хвилі 560 нм при експозиції спектрометра від 2,5 мс до 100 мс

Неузгодженість швидкості обертання двигуна до фіксованого значення помилки виміру інтенсивності флюоресценції не завжди дозволяє отримати “дійсне” значення екстремуму. У зв’язку з цим умова $\omega_{\text{дв}} \leq (\varphi_{\text{поз}}/k)$ при відпрацюванні положення валу двигуна у кроковому режимі забезпечить точність його позиціювання. Коефіцієнт “k” визначає ступінь залежності $\varphi_{\text{поз}} = f(\omega_{\text{дв}})$ та має різні значення при зміні напрямку обертання двигуна. Важливим для розрахунку сигналу завдання $\omega_{\text{дв}}$ є вибір тривалості кроку позиціювання. Час відпрацювання кроку залежить від кількості періодів збудження і визначає величину кута повороту валу двигуна (φ) за один крок. За даними роботи [5] ця залежність має лінійний характер і залежить від напрямку обертання двигуна. Таким чином, для забезпечення заданої точності вимірювання максимуму інтенсивності флюоресценції в автоматичному режимі необхідно при позиціюванні валу двигуна враховувати швидкість його обертання, та узгоджувати її до відповідного значення часу експозиції.

За результатами моделювання залежність зміни кута повороту напрямку променя лазера при визначенні екстремуму інтенсивності з використанням системи пошуку екстремуму за стратегією [4] для часу вимірювання інтенсивності 200 мс представлена на рисунку 2б.

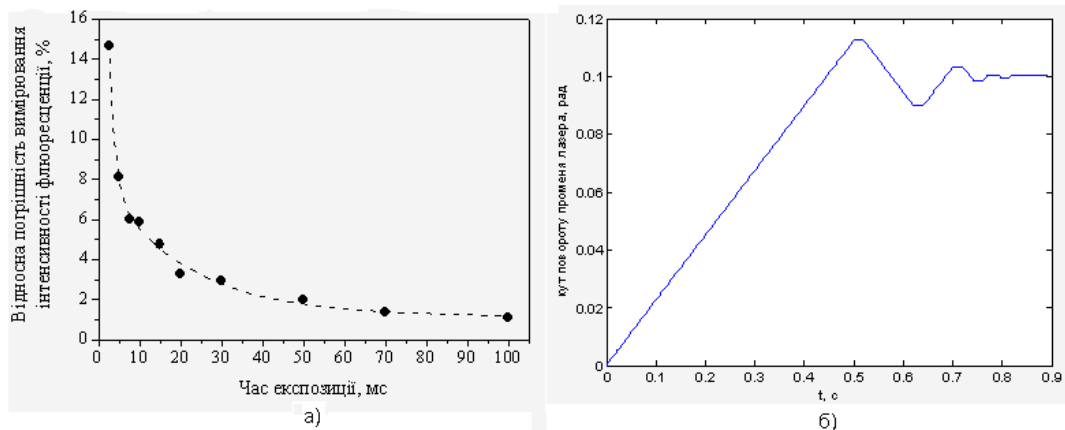


Рис.2. а) залежність відносної погрішності вимірювання інтенсивності флюоресценції від часу експозиції; б) залежність зміни кута повороту напрямку променя лазера при пошуку екстремума інтенсивності флюоресценції

ВИСНОВКИ

За результатами експериментальних досліджень інтенсивності флюоресценції модельного барвника було встановлено залежність величини відносної помилки вимірювань від часу експозиції. Ця залежність має гіперболічний характер. З урахуванням особливості роботи п'єзоелектричного двигуна у кроковому режимі, сформульовані вимоги щодо точності позиціювання валу п'єзоелектричного двигуна при розробці алгоритму функціонування системи пошуку максимуму інтенсивності флюоресцентного сигналу

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kurilčik N. Fluorescence detection of biological objects with ultraviolet and visible light-emitting diodes / N. Kurilčik, P. Vitta, A. Žukauskas [et al.] // *Optica Applicata*. – Vol. 36, № 2-3. – P. 193–198.
2. Riehemann K. Nanomedicine – challenge and perspectives / K. Riehemann, S. W. Schneider, T. A. Luger [et al.] // *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.* – 2009. – Vol. 48, № 5. – P. 872–897.
3. Lakowicz J. R. Plasmon-controlled fluorescence: a new paradigm in fluorescence spectroscopy / J. R. Lakowicz, K. Ray, M. Chowdhury [et al.] // *Analyst*. – 2008. – Vol. 133. – P. 1308–1346.
4. Халімовський О. М. Автоматизація процесу тестування властивостей біологічних матеріалів та наноструктур / О. М. Халімовський, В. І. Чегель, В. К. Литвин, А. М. Лопатинський // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. Серія: «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика (спеціальний випуск)». – 2013. – № 36 (1009). – С. 514–515.
5. Белова А. В. Исследование характеристик пьезоэлектрического двигателя в системах позиционирования / А. В. Белова, С. Ф. Петренко // *Вісник НТУУ-«КПІ»*, Серія приладобудування. – 2008. – Вип. 35. – С. 69-76.

Надійшла до редакції 12.12.2013р.

ХАЛІМОВСЬКИЙ ОЛЕКСІЙ МОДЕСТОВИЧ – к.т.н., доцент, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м.Київ, Україна.

ЧЕГЕЛЬ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ – к.ф.-м.н., с.н.с., старший науковий співробітник відділу оптоелектронних функціональних перетворювачів, Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України.

ЛИТВИН ВІТАЛІЙ КОСТЯНТИНОВИЧ – аспірант відділу оптоелектронних функціональних перетворювачів, Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України.

ЛОПАТИНСЬКИЙ АНДРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ – науковий співробітник відділу оптоелектронних функціональних перетворювачів, Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України.

ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ ТА КОМПОНЕНТИ В ЛАЗЕРНИХ І ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

DINH THANH VIET¹, TRAN PHUONG NAM², LA VAN UT³

ANALYSIS OF PROFIT OF GENERATION COMPANY IN POWER MARKET

¹*Danang University of Technology, Vietnam*

²*Hue Industrial College, Vietnam*

³*Hanoi University of Technology, Vietnam*

Abstract. In recent decades, the operation of power systems in the power market model has been researched and applied by many countries. The profit of generation companies is always interested in research to ensure operation and balance of power market. This paper studies and analysis profit of generation companies to participate in the power market. In addition, this paper has analyzed the participation of new generation in the power market with 39-bus IEEE power system.

Keywords: power market, generation company, optimal power flow.

BID AND AUCTION OF GENERATION COMPANIES IN THE POWER MARKET

In the day ahead market, GenCos and DisCos will submit quotations through market operation center. In the real-time power market, market operation (MO) operates power market and combines with system operation (SO) to dispatch power system [4, 5].

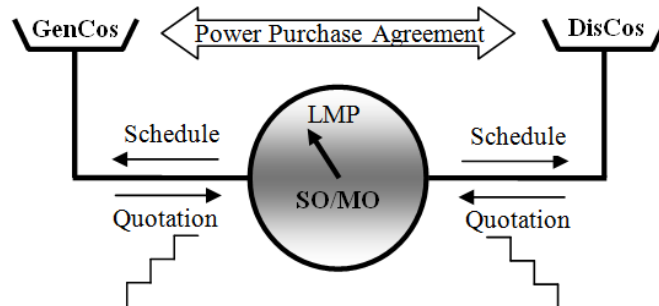


Figure 1. Bid and auction in the power market

LOCATIONAL MARGINAL PRICES IN POWER MARKET

The objective function in the optimal power flow of power market is a minimum objective function of operating cost in total [1, 2, 3]:

$$\min f(P_G) \quad (1)$$

Subject to $G(P_G, Q_G, V, \theta) = 0 \quad (2)$

$$H(P_G, Q_G, V, \theta) \leq 0 \quad (3)$$

The Lagrangian function defined as:

$$L = f(P_G) + \lambda G(P_G, Q_G, V, \theta) + \mu H(P_G, Q_G, V, \theta) \quad (4)$$

Where $f(P_G) = \sum_{i=1}^n f_i(P_G)$: scalar, short-term operating cost, such as fuel cost;
 $G(P_G, Q_G, V, \theta) = \sum_{i=1}^n g_i(P_G, Q_G, V, \theta)$: vector, equality constraints, such as bus power flow balances (Kirchoff's laws); $H(P_G, Q_G, V, \theta) = \sum_{i=1}^n h_i(P_G, Q_G, V, \theta)$: vector, inequality constraints including limits of all variable; $\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$, $\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i$: the Lagrangian multipliers as sociated to (2) and (3).

Therefore, locational marginal price (LMP) at node i is three components included in the marginal price at reference node, marginal loss cost from reference node to node i and marginal congestion price from reference node to node i .

$$LMP_i = \pi_i = \lambda_{Ref} + \lambda_{Ref} \frac{\partial P_{Loss}}{\partial P_i} + \sum_{j=1}^n \mu_j \frac{\partial P_{ij}}{\partial P_i} = \lambda_{Ref} + \lambda_{Lossi} + \lambda_{Congestiioni} \quad (5)$$

CASE STUDY. TEST MODEL

Table 1 and Figure 2 show parameters and diagram of IEEE 39-bus:

Table 1.

Data of GenCos				
GenCo	b (\$/MW)	c (\$/MW ²)	Pmin (MW)	Pmax (MW)
G ₃₀	6.9	0.019	100	350
G ₃₁	3.7	0.011	100	1150
G ₃₂	2.8	0.01	100	750
G ₃₃	4.7	0.009	100	732
G ₃₄	2.8	0.013	100	608
G ₃₅	3.7	0.009	100	750
G ₃₆	4.8	0.01	100	660
G ₃₇	3.6	0.011	100	640
G ₃₈	3.7	0.007	100	930
G ₃₉	3.9	0.006	100	1100

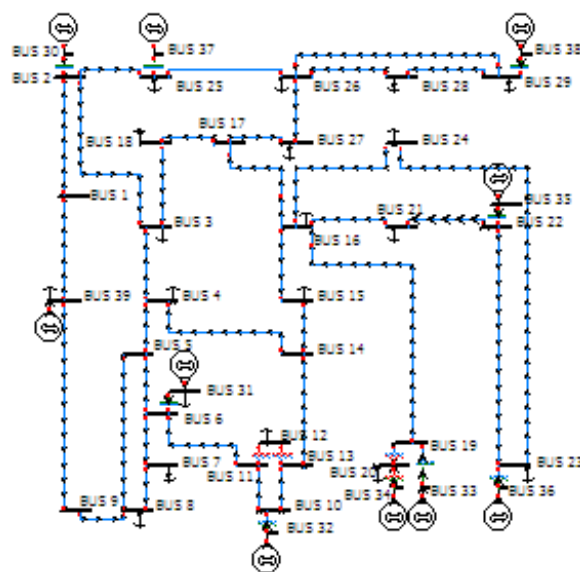


Figure 2. IEEE 39-bus power system

CALCULATION AND DISCUSSION

In Table 2, New GenCo ($b=4\$/\text{MW}$, $c=0.01\$/\text{MW}^2$) participates in the power market, it is connected to Bus 3. If there is no distinction, New GenCo will have benefit from the law of supply and demand of the market like any other member. New GenCo can actively earn profit by bidding strategy. Example, output capacity of New GenCo is 600MW, the profit of New GenCo is 3540\$/h.

Table 2.

Targets with New GenCo connect Bus 3					
GenCo	P (MW)	LMP (\$/MWh)	Revenue (\$/h)	Charge (\$/h)	Profit (\$/h)
(1)	(2)	(3)	(4)=(2)*(3)	(5)=b.(2)+c.(2) ²	(6)=(4)-(5)
G_{new}	600	15.9	9540	6000	3540
G_{30}	250	15.9	3975	2913	1063
G_{31}	520	15.9	8268	4898	3370
G_{32}	620	15.9	9858	5580	4278
G_{33}	606	15.9	9629	6147	3482
G_{34}	506	15.9	8052	4752	3300
G_{35}	620	15.9	9858	5754	4104
G_{36}	548	15.9	8713	5633	3080
G_{37}	532	15.9	8459	5028	3430
G_{38}	930	15.9	14787	9495	5292
G_{39}	1077	15.9	17127	11163	5964
Σ	6209		98726	61364	37363

From Figure 3, survey with other cases, if New GenCo connect to Buses 3, 4, 7, 18 and 27, profit of New GenCo will be more efficient than the other cases.

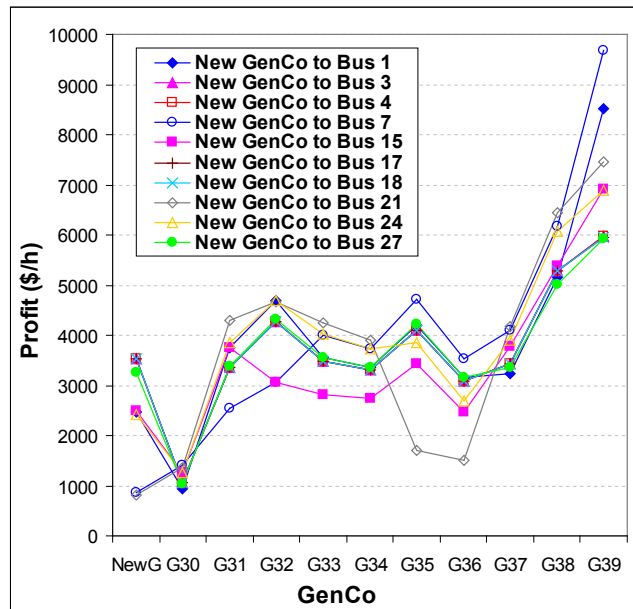


Figure 3. Profit of GenCos with connection cases of New GenCo

In addition, Figure 4 shows congestion profile at the branches that was significantly reduced when New GenCo connect to Buses 3, 4, 17, 18 and 27. If new GenCo connect to Bus 3 and 4, improvement of congestion at branches will be more efficient than the other cases. This congestion will affect the distribution of LMPs and profits as Figure 3.

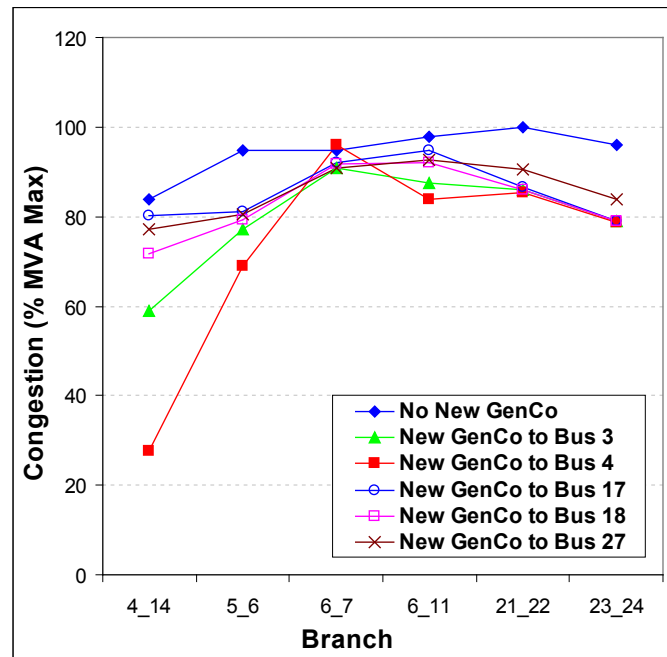


Figure 4. Congestion of branches with connection cases of New GenCo

In summary, If to participate in the power market, New GenCo will be profitable under market rules, the profits are vital and need special attention. This reflect the cost of GenCos in the transaction cycle, reflect the market price, increasing the transparency of the market.

Therefore, before implementing the investment project, the new generations should be carefully calculated building positions of power plant in the power systems, this will optimize the profits of the business, improve the safety and stability in the power system.

CONCLUSION

This paper has focused on analyzing and assessing the profit of generation companies to participate in the power market. If the generations sign long- term contracts with power trading companies, they will encounter investment risks such as exchange rates, inflation ... However, this risk will lessen if generations participate in power market. Participating in the electricity market and knowing how to choose location for investment, to forecast load, to forecast LMP, to offer reasonable bid in the transaction cycle, the generations are able to control their profits.

REFERENCES

1. Tran Phuong Nam, Dinh Thanh Viet, and La Van Ut, "Application of neural network in voltage stability assessment in real-time power market", in Proc. IEEE Conf. IPEC 2012, HCM city, 12-13 Dec 2012, pp. 196-200.
2. Tran Phuong Nam, Dinh Thanh Viet, and La Van Ut, "Application of SVC for voltage regulation in real-time power market", in Proc. IEEE Conf. ICIEA 2013, Melbourne, 19-21 June 2013.
3. Tran Phuong Nam, Dinh Thanh Viet, "Development of distributed generation in power market", in Proc. Conf. UK-VN CECE 2012, Journal of Science and Technology, University of Danang, vol. 12(61), 2012, pp. 137-141.
4. Daniel Kirschen, Goran Strbac, Fundamentals of Power System Economics, John Wiley & Sons, England, 2004.
5. Mohammad Shahidehpour, Hatim Yamin, Zuyi Li, Market Operations in Electric Power Systems, John Wiley & Sons, 2002.

Надійшла до редакції 08.12.2013р.

DINH THANH VIET - assoc.Prof, Danang University of Technology, Vietnam.

TRAN PHUONG NAM - PhD student, Hue Industrial College, Vietnam.

LA VAN UT - prof., Hanoi University of Technology, Vietnam.

УДК 621.311.24:681.511.46

І.З. ЩУР, Ю.О. БІЛЕЦЬКИЙ

ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЕНЕРГОФОРМУЮЧЕ КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ

Національний університет «Львівська політехніка»,
79013, вул. С. Бандери, 12, м.Львів, Україна

Анотація. Запропоновано системи поліфункціонального енергоформуючого керування навантаженням вітроелектроустановок різного виконання, що забезпечують запуск установки та оптимальну роботу системи на турбулентних і поривчастих вітрах. Приведено алгоритми роботи систем керування, а також осцилограми комп'ютерного симулювання роботи керованих вітроелектроустановок.

Ключові слова: вітроелектроустанова, синхронний генератор з постійними магнітами, енергоформуюче керування, оптимальне керування

ВСТУП

На території України, де середньорічна швидкість вітру не перевищує 3-6 м/с, доцільно використовувати спеціальні автономні вітроелектроустановки (ВЕУ) малої потужності з вертикальною віссю обертання (ВВО) та синхронним генератором на постійних магнітах (СПМ) [1]. Зважаючи на низький вітровий потенціал, непостійність та поривчастість вітрового потоку, в таких ВЕУ гостро постає проблема забезпечення максимальної енергоефективності.

Як відомо, для забезпечення максимального відбору потужності від вітру потрібно підтримувати максимальне значення коефіцієнта корисного використання енергії вітру C_{Pmax} , а отже – оптимальну для кожної швидкості вітру кутову швидкість вітроротора (ВР) ω_{opt} . Це досягається шляхом зміни навантаження генератора.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для оптимального керування електричним навантаженням ВЕУ, на основі енергетичних підходів [3], було розроблено систему енерго-формуючого керування (СЕФК) [4], яка потребувала давач швидкості вітру для формування сигналів завдання на кутову швидкість генератора ω_0 та його електромагнітний момент M_{em}^* . Для забезпечення ефективного бездавачевого керування, така система була поєднана з традиційним керуванням за Morimoto та додатковим форсуванням [5]. При роботі на турбулентних вітрах запропоновані системи працюють в режимі оптимальної, з точки зору максимальної енергії на виході системи, швидкодії [4].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Однією із найбільших проблем у ВЕУ з ВВО, що працюють на підйомній силі лопатей, є запуск ВЕУ в роботу. СЕФК, завдяки формуванню сигналів завдання від давача швидкості вітру, має можливість здійснювати електричний запуск ВЕУ, однак через це вона є чутливою до тимчасових, слабких поривів вітру, що призводить до хибних спрацювань, і як наслідок – втрат енергії. У бездавачевій СЕФК така можливість взагалі відсутня. У ВЕУ, ВР яких спроектований з можливістю самозапуску, постійний відбір потужності уповільнює процедуру запуску, що також призводить до втрат енергії. Проблемною є також робота на поривчастих вітрах, коли може виникати постійне перемикання в роботі ВЕУ між режимом генерування, що може призвести до повної зупинки ротора, і наступним режимом повторного розгону, що є енергозатратним. Окремою проблемою є обмеження швидкохідності ВР, що переважно вирішується формуванням його аеродинамічних властивостей, проте і тут приховані резерви для додаткового використання енергії вітру.

Отже, завданням цього дослідження є вдосконалення СЕФК таким чином, щоб вони мали можливість здійснювати поліфункціональне керування різними ВЕУ, спрямоване на вирішення вищеписаних проблем.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для вирішення поставленого завдання запропоновано три варіанти системи поліфункціонального СЕФК роботою БЕУ з ВВО: з точним давачем швидкості вітру – для здійснення найбільш ефективного керування та електричного запуску БЕУ (система I); з індикаторним давачем швидкості вітру – тільки для електричного запуску БЕУ (система II); без давача вітру – для БЕУ з самозапуском (система III). Алгоритми роботи поліфункціональних СЕФК представлені на рис. 1.

Обмеження швидкохідності. При малих швидкостях вітру, коли БЕУ відімкнена від навантаження, відбувається контроль кутової швидкості генератора, і за умови, якщо вона перевищує $\omega_{\max}$, системи I і II розпочнуть відбір енергії (в даному випадку кінетичної енергії, запасеної ВР). Відбір енергії продовжуватиметься доки кутова швидкість не зменшиться до $\omega_{\max}/2$ (рис. 1). Для системи III даний вид захисту є недоцільним виходячи з алгоритму її роботи.

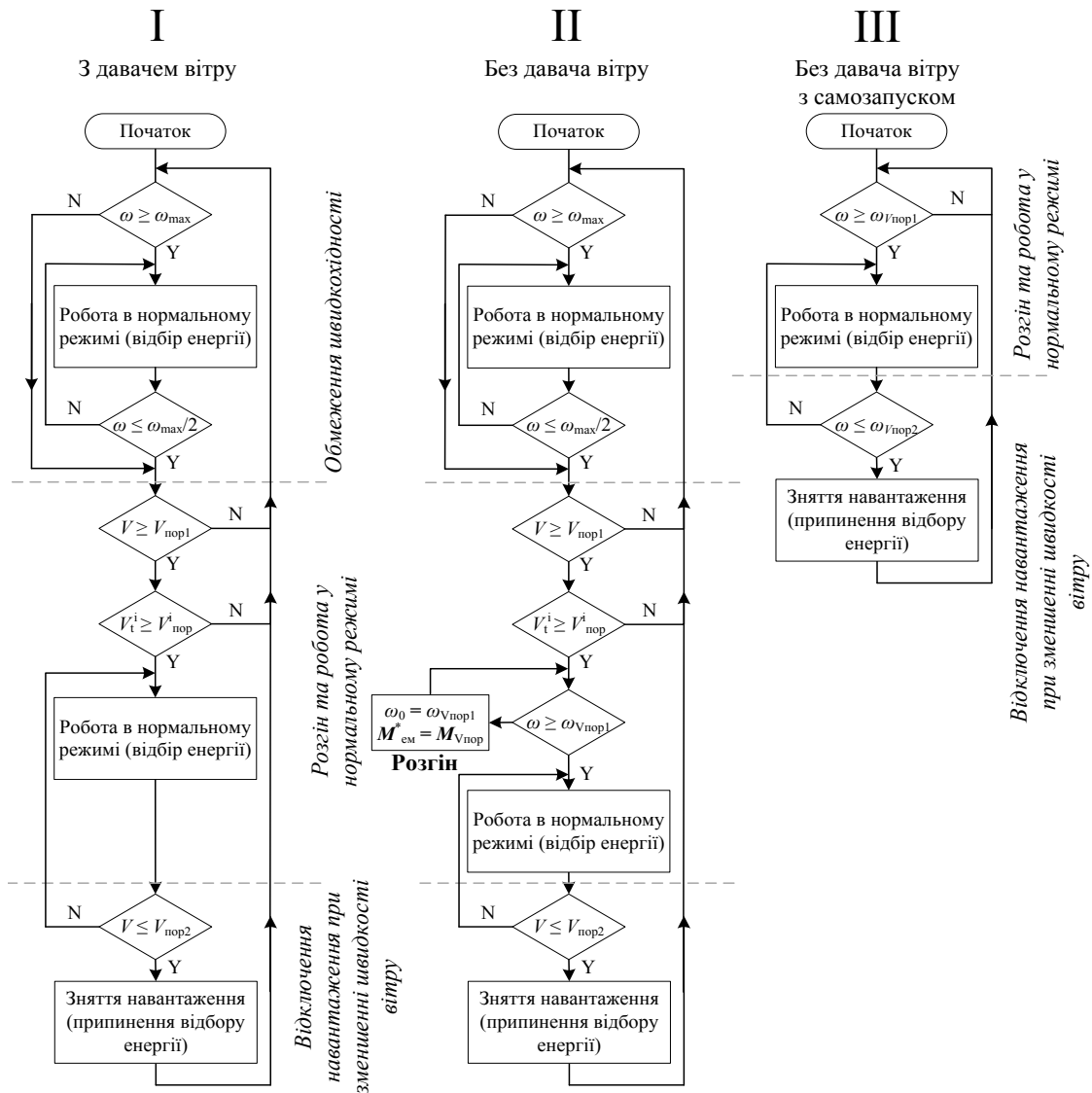


Рис. 1. Алгоритми роботи СПЕФК I, II та III-ої систем

Запуск. У системах I і II запропоновано постійно контролювати швидкість вітру, а також інтегрувати і порівнювати її інтегральні значення за заданий проміжок часу ($t = 5$ с) з пороговим $V_{\text{пор}}^i = 10$ м, з метою аналізу вітрового потенціалу в динаміці (рис. 1.). Таким чином, коли швидкість вітру перевищить задане порогове значення $V_{\text{пор1}} = 3$ м/с, а її інтегральне значення $V_{\text{пор}}^i$, тоді БЕУ розганяється і далі розпочинається відбір енергії. В системі I розгін до бажаної швидкості та початок нормальної роботи відбуваються автоматично. У системі II спершу формуються сигнали завдання $\omega_0 = \omega_{\text{впор1}}$ та

$M_{см}^* = M_{V_{пор1}}^*$ на розгін до певної мінімальної кутової швидкості $\omega_{opt}(V_{пор1})$, оптимальної для порогового значення швидкості вітру, і після її досягнення розпочинається навантаження. У системі III розгін відбувається завдяки самозапуску, а відбір енергії розпочинається, коли кутова швидкість ротора досягає порогового значення $\omega_{V_{пор1}}$.

Робота на поривчастих вітрах. Коли швидкість вітру падає нижче $V_{пор1} = 2,5$ м/с, тобто стає енергетично не ефективною, (в системі III перевірка здійснюється відносно $\omega_{V_{пор2}}$), то СЕФК припиняють відбір енергії і чекають, поки швидкість вітру знову не зросте.

З метою дослідження запропонованих поліфункціональних СЕФК була виконана комп'ютерна симуляція роботи систем I, II та III (результати на рис. 2) за допомогою MATLAB/Simulink на двомасовій моделі ВЕУ потужністю 0,5 кВт з наступними параметрами ВР: $C_{Pmax} = 0,351$ і $\lambda_{opt} = 3,67$ (для систем I і II) та $C_{Pmax} = 0,314$ і $\lambda_{opt} = 3,78$ (для системи III).

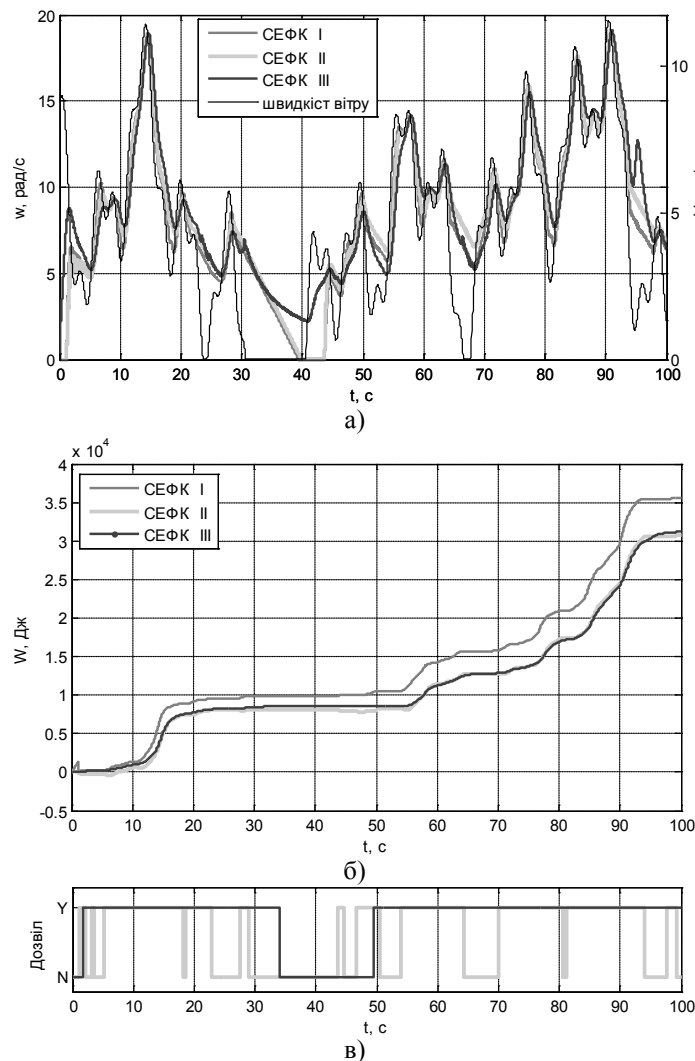


Рис. 2. Осцилограми роботи ВЕУ з СЕФК I, II та III: а) кутова швидкість ВР при відповідній швидкості вітру (шкала праворуч); б) енергія, отримана від генератора протягом дослідного періоду; в) дозвіл на відбір ВЕУ енергії

ВИСНОВОК

Розроблені поліфункціональні СЕФК ВЕУ забезпечують відбір енергії від вітру, виходячи з аналізу частоти обертання генератора, поточної швидкості вітру та зміни швидкості вітру протягом останнього часу, а також роботу в режимі оптимальної, з точки зору максимуму відбору енергії, швидкодії. Використання цих систем дає змогу відбирати від вітру до 97% максимально можливої

енергії в умовах мало потенціальних турбулентних і поривчастих вітрів та використовувати ВР без самозапуску і аеродинамічного обмеження швидкості, C_{pmax} яких є значно вищим.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Щур І.З. Оптимальне керування вітроустановками різної потужності в умовах турбулентних вітрів / І. З. Щур, В. І. Щур // Вісник Націон. ун-ту “Львівська політехніка”: Електроенергетичні та електромеханічні системи. – Львів, 2012. – № 736 – С. 146-152.
2. Optimal control of wind energy systems / I. Muteanu, A. I. Bratcu, N. A. Cutululis, E. Ceangă. – London: Springer, 2008. – 284 p. – ISBN 978-1-84800-079-7
3. Zou. Z. Maximum output power of PMSM based on energy-shaping and PWM control principle / Z. Zou., H. Yu, Y. Tang // IEEE Intr. Conf. on Aut. and Log. – Qingdao University, 2008. – P. 1556–1560.
4. Щур І.З. Енергоформуюче оптимальне керування навантаженням вітроелектроустановки з синхронним генератором на постійних магнітах / І.З. Щур, Ю.О. Білецький // Наук. пр. Донецьк. націон. тех. ун-ту., Серія “Електротехніка і енергетика” – Донецьк, 2013. – № 2(15). – С. 280-286.
5. Білецький Ю.О. Енергоформуюче оптимальне керування синхронним генератором з постійними магнітами у складі вітроелектроустановки без давача швидкості вітру / Ю.О. Білецький // Вісн. Націон. тех. ун-ту. «ХПІ», Серія “Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика.” – Харків, 2013. – № 36 – С. 403-407.

Надійшла до редакції 03.12.2013р.

ЩУР ІГОР ЗЕНОНОВИЧ – д.т.н., професор, професор кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок, національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна, E-mail: i_shchur@meta.ua.

БІЛЕЦЬКИЙ ЮРІЙ ОЛЕГОВИЧ – аспірант кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок, національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна, E-mail: biletskyi.y.o@gmail.com.

УДК 621.311

В.М. СУЛЕЙМАНОВ, В.А. БАЖЕНОВ, Т.Л. КАЦАДЗЕ

ПІДВИЩЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ НАДІЙНОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ УСТАЛЕНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

*Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна*

Анотація. В статті представлена методика архівування та подальшого читання параметрів архівованих режимів електроенергетичних систем, що дозволяє суттєво підвищити розрахункову надійність моделювання переобтяжених режимів. Для пошуку найбільш близького до досліджуваного режиму в банку архівів розроблено математичну модель та алгоритм на базі математичного апарату штучних нейронних мереж Хопфілда.

Ключові слова: розрахункова модель, переобтяжений режим, початкові наближення, архів, асоціативна пам'ять, мережа Хопфілда

ВСТУП

Моделювання усталених режимів електроенергетичних систем складають більшу частину розрахунків як під час експлуатації та управління, так і під час проектування розвитку електроенергетичних систем. Метою такого моделювання є визначення допустимості режимів напруги у вузлах схеми електричної мережі, перетоків потужності в окремих лініях або групах ліній контрольованого перерізу, перевірка можливості передачі заданої потужності, оцінювання сумарних втрат потужності тощо. Моделювання усталених режимів є, як правило, найважливішою складовою вирішення комплексних завдань, таких, наприклад, як вибір експлуатаційних схем електричної системи, регулювання режиму напруги, перерозподіл перетоків потужності в неоднорідних електричних мережах під час оптимізації режиму системи; аналіз статичної та динамічної стійкості електричної системи по відношенню до зовнішніх несприятливих збурень; визначення струмів короткого замикання; розрахунок протікання електромеханічних і тривалих перехідних процесів та багатьох інших задач.

Сучасні програмні комплекси моделювання усталених (квазіусталених) режимів електроенергетичних систем, зазвичай, базуються на математичному апараті методу Ньютона-Рафсона розв'язання систем нелінійних алгебраїчних рівнянь вузлової моделі усталеного режиму електричної системи [1–4]. Разом з тим відомо, що метод Ньютона є дуже чутливим до вибору початкових наближень невідомих модулів та фазових кутів векторів напруг в ітераційному розрахунковому процесі [3, 5, 6]. У більшості практичних випадків для отримання стійкого збіжного ітераційного процесу достатньо обрати номінальні значення невідомих як початкові наближення, наприклад, номінальні напруги незалежних вузлів розрахункової схеми. Проте, у разі розв'язання задач аналізу переобтяжених режимів, зображуючі точки яких знаходяться поблизу межі існування, задача вибору початкових наближень набуває особливої актуальності. Для отримання стійких ітераційних процесів необхідно обрати початкові наближення невідомих параметрів якомога ближче до їх реальних значень.

Суттєвого прискорення одиничних розрахунків усталених режимів електроенергетичних систем можна досягти за умови використання технології архівування та подальшого читання архівів раніш розрахованих режимів енергосистем. Тут, за необхідності розрахунку конкретного переобтяженого режиму, програмний модуль здійснює пошук у банку архівованих зрізів режим, найбільш близький до досліджуваного та приймає початкові наближення невідомих, які відповідають параметрам архівованого режиму. Лише після цього програмний модуль здійснює розрахунок параметрів конкретного режиму електроенергетичної системи.

Задачу пошуку режимного зрізу, максимально наближеного до поточної розрахункової схеми можна розглядати як задачу класифікації із використанням моделей асоціативної пам'яті [7]. Розв'язання зазначеної задачі реалізовано авторами із використанням математичного апарату штучних нейронних мереж Хопфілда.

Мережа Хопфілда являє собою одношарову мережу із симетричними зворотними зв'язками, призначену для реалізації асоціативної пам'яті [8-10]. Структуру мережі Хопфілда у загальному вигляді представлено на рис. 1.

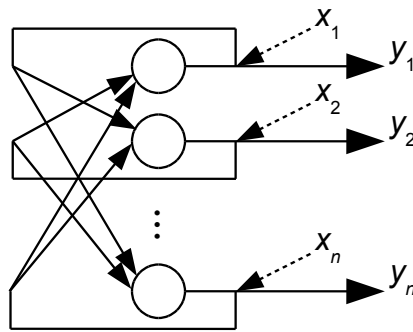


Рис. 1. Архітектура штучної нейронної мережі Хопфілда

Ініціалізація мережі відбувається шляхом подання вхідних сигналів на вихід мережі. Далі, сигнали з виходу мережі подаються на її вхід та перетворюються на нові вихідні сигнали, які знов подаються на вхід мережі. Така операція проводиться циклічно, доки сигнали, які циркулюють у мережі не зафіксуються, а мережа не перейде до одного з можливих усталених станів.

Експериментально доведено, що стійке розв'язання задач із використанням мереж Хопфілда гарантується у разі, коли загальна кількість образів, які зберігаються у пам'яті мережі задовольняє умові

$$P \leq \frac{N}{2 \ln N} \quad (1)$$

Розглянемо розв'язання задачі розпізнавання образів архівованих зрізів режимів електроенергетичних систем із використанням мереж Хопфілда для тестової схеми електричної системи IEEE-30, представлену на рис. 2.

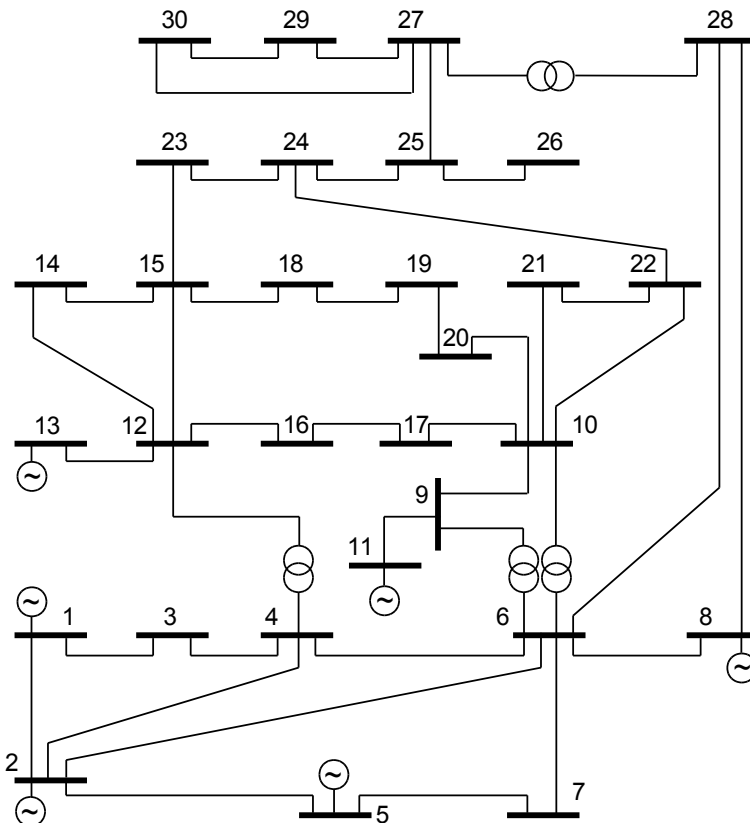


Рис. 2. Тестова схема IEEE-30

Переобтяження режиму здійснюється шляхом збільшення навантаження у вузлах розрахункової схеми. Це означає, що мережа Хопфілда, яка буде зберігати інформацію про архівовані режими має містити 30 нейроноподібних елементів. Така мережа, відповідно до (1), зможе зберегти інформацію про чотири образи зрізів переобтяжених режимів.

Нехай банк архівованих зрізів містить інформацію про чотири переобтяжені режими, отримані шляхом збільшення навантаження у таких вузлах схеми:

- 1) 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16;
- 2) 4, 6, 7, 9, 10, 20, 21, 22, 28;
- 3) 9, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22;
- 4) 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30.

Такі режими умовно можна представити у вигляді діаграм образів наведених на рис. 3. Тут затемнені комірки відповідають вузлам із збільшеними навантаженнями. Рахунок комірок здійснюють зліва направо, починаючи із верхнього лівого кута.

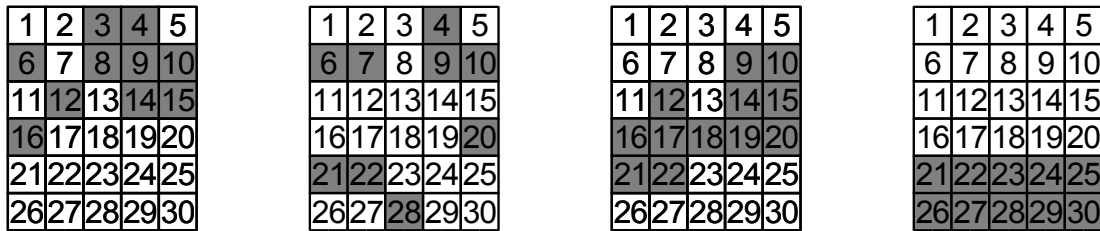


Рис. 3. Діаграми образів архівованих зрізів переобтяжених режимів

Нехай тепер необхідно реалізувати розрахунок характеристик переобтяженого режиму електричної системи, який характеризується збільшеними навантаженнями у вузлах 6, 10, 12, 18, 20, 21, 22, 24, 27, 28, 29 та 30. Для цього у банку архівованих режимів необхідно знайти переобтяжений режим, найбільш близький до шуканого.

Відповідний досліджуваному режиму сигнальний вектор подають на вихід мережі. Проходження цих сигналів через нейронну мережу призводить до перетворення сигналів на виході. Послідовність циклічних перетворень сигналів на виході мережі Хопфілда умовно наведена на рис. 4.

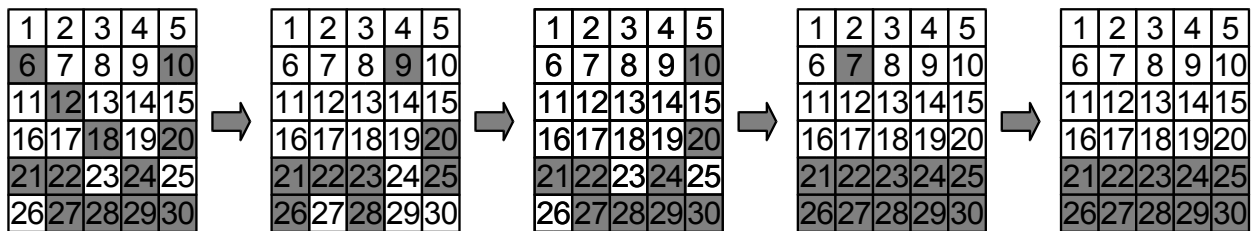


Рис. 4. Послідовність перетворень вихідних сигналів мережі Хопфілда

Таким чином, для надійної реалізації ітераційного розрахунку переобтяженого робочого режиму електричної системи тестової схеми IEEE-30 необхідно використовувати дані четвертого архівованого режиму як початкові наближення невідомих параметрів.

Зазначимо, що для представленого способу кодування зрізів архівованих та досліджуваних режимів за допомогою бінарних векторів можна запропонувати інший, можливо, навіть, більш простий спосіб реалізації пошуку на базі обчислення відстані Геммінга. Проте, для більш складних способів кодування інформації про переобтяження електроенергетичних систем апарат штучних нейронних мереж Хопфілда дозволить найбільш ефективно організувати асоціативну пам'ять та реалізувати пошук архівованого зрізу режиму, найбільш близького до поточного досліджуваного.

ВИСНОВКИ

1. Розрахункові моделі аналізу усталених (квазіусталених) режимів електроенергетичних систем, які базуються на математичному апараті методу Ньютона, є чутливими до вибору початкових наближень невідомих, що ускладнює їх використання для аналізу переобтяжених режимів, зображуючи точка яких знаходиться поблизу границі існування режиму.

2. З метою підвищення розрахункової надійності моделей аналізу режимних параметрів електроенергетичних систем запропоновано підхід, який базується на архівуванні зрізів та подальшому читанню даних режимів, найбільш близьких до поточних досліджуваних.

3. Розроблена модель асоціативної пам'яті зрізів архівованих режимів, яка базується на апараті штучних нейронних мереж Хопфілда. Така модель дозволяє організувати ефективний пошук в банку архівованих зрізів режимів, найближчі до поточних досліджуваних.

4. Застосування розробленої моделі асоціативної пам'яті проілюстровано на прикладі пошуку в банку архівованих зрізів режимів тестової схеми IEEE-30, що підтвердило ефективність запропонованого методу організації асоціативної пам'яті.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бартоломей П. И. Вычислительные модели потокораспределения в электрических системах / Б. И. Аюев, В. В. Давыдов и др. Под ред. П. И. Бартоломея. – М.: Наука, 2008. – 256 с.
2. 2. Электрические сети и системы / Под ред. В. А. Веникова, В. А. Строева. – М.: Высшая школа, 1998. – 512 с.
3. 3. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
4. 4. В. Цысин Проект RESET. Обзор существующих программных средств расчета и анализа электрических режимов энергосистем / Режим доступа: <http://www.ca-reset.org/library/presentations/TransmissionPlanningSoftwareOverview.pdf>
5. 5. Грицай М. А. Существование режима электроэнергетической системы / Под ред. В. М. Посталя. – Кишинев: Штиинца, 1987. – 122 с.
6. 6. Сулейманов В. Н., Кацадзе Т. Л. Модуль оценки режимных характеристик сетей энергосистем в среде экспертной системы EXYLEN в условиях чрезвычайных ситуаций // Электроника и связь – 2000, №8, Т. 2, с.178-180.
7. 7. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж. Ф. Люгер. - 4-е изд. – М.; СПб.; К.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 864 с
8. 8. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.
9. 9. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. : Пер. с англ. / Саймон Хайкин. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.
10. 10. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей: пер. с англ. / Роберт Каллан. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2001. – 287 с.

Надійшла до редакції 15.11.2013р.

СУЛЕЙМАНОВ ВІКТОР МИКОЛАЙОВИЧ – к.т.н., професор, професор кафедри електричних мереж та систем, національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна.

БАЖЕНОВ ВОЛОДИМИР АНДРІЙОВИЧ – к.т.н., доцент, доцент кафедри електричних мереж та систем, національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна.

КАЦАДЗЕ ТЕЙМУРАЗ ЛУАРСАБОВИЧ – к.т.н., доцент, доцент кафедри електричних мереж та систем, національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна.

УДК 621.316

О.Г. ГРИБ¹, Д.А. ГАПОН¹, А.О. ЗУЄВ¹, Р.В. ЖДАНОВ²

ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЖИВЛЯЧОЇ МЕРЕЖІ ПРИ ПІДКЛЮЧЕННІ ПРИСТРОЮ З АКТИВНИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

¹Національний технічний університет

"Харківський політехнічний інститут",

²Красноградський РЕМ АТ «Харківобленерго»

Анотація. Авторами досліджено характер та чинники погіршення якості електроенергії в мережі обумовлене роботою пристрою з активним перетворювачем. Зроблено висновки щодо необхідності і напрямків подальших досліджень та врахування подібних явищ у нормативній документації.

Ключові слова: якість електроенергії, вищі гармоніки, частотний перетворювач.

ВСТУП

У рамках експериментальних досліджень методів вимірювання спектрального складу напруг і струмів електричних мереж фахівцями НТУ «ХПІ» (м. Харків) і Красноградського РЕМ АТ «Харківобленерго» (Харківська область) були виконані виміри показників якості електричної енергії (ПЯЕ) в різних точках енергосистеми в безпосередній близькості від різних об'єктів народного господарства. У результаті вимірів були виявлені істотні порушення норм ПЯЕ на шинах 0,4 кВ (рис.1).

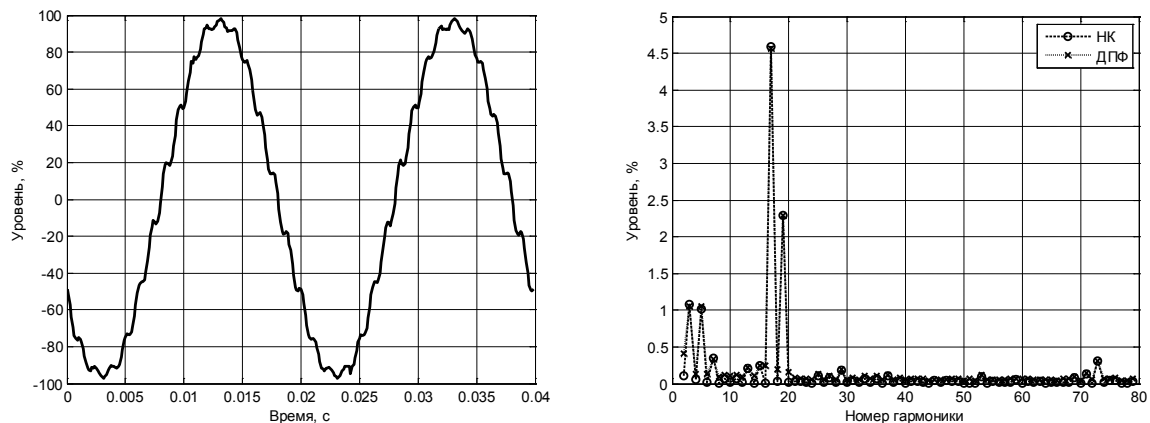


Рис.1. Форма напруги на шинах 0,4 кВ та її спектр

Достовірність отриманих результатів підтверджується тим, що майже співпадаючі значення отримані двома різними методами (ДПФ та НК). В обох випадках використовувалися базові інтервали 10 періодів, 3 секунди та 10 секунд згідно затвердженої методики СОУ-Н ЕЕ 40.1-37471933-55:2011. Перший метод базується на дискретному перетворенні Фур'є та відповідає МЭК 61000-4-7:2002 [1]. Другий метод використовує апроксимацію методом найменших квадратів та має деякі переваги, зокрема відсутність ефектів пов'язаних з некратністю інтервалу спостереження цілому числу періодів основної гармоніки [2].

Як з'ясувалося, джерелом спотворень був частотний привід двигуна, з активним коректором коефіцієнта потужності, застосований на буровій установці. Останнім часом подібні пристрої все частіше знаходять застосування на напругах 3-11 кВ, при цьому, згідно з більшістю публікацій, сприяють поліпшенню показників електроспоживання. Однак, на рис.1, можна побачити підвищений рівень 17 (4,62%) і 19 (2,31%) гармонік, а також наявність ще більш високочастотних складових, таких як 73 гармоніка з рівнем 0,3%. З'ясувати походження таких можна розглянувши принцип дії подібних пристроїв.

Більшість перетворювачів на напруги 3-11 кВ побудовані по аналогічних схемах незалежно від їх виробника. Силова схема перетворювача складається з вхідного багатообмоточного трансформатора і силових комірок (рис. 2). Вихідна напруга формується послідовним з'єднанням силових комірок кожної фази. Базова частота перемикачів ШІМ в кожній комірці становить 700-900 Гц. Число комірок на фазу може коливатися в діапазоні від 3 до 9. Таким чином, ефективна частота ШІМ дорівнює добутку базової частоти на число комірок, тобто від 2100 до 7200 Гц. Відповідно до заяв виробників загальний коефіцієнт гармонік THD вхідного струму не перевищує 0,5%. Однак, при цьому, для розрахунку використовуються тільки гармоніки до 40-ї (2000 Гц), як це передбачено ГОСТ 13109-97. Але ефективна частота ШІМ такого перетворювача знаходиться за межами даного діапазону.

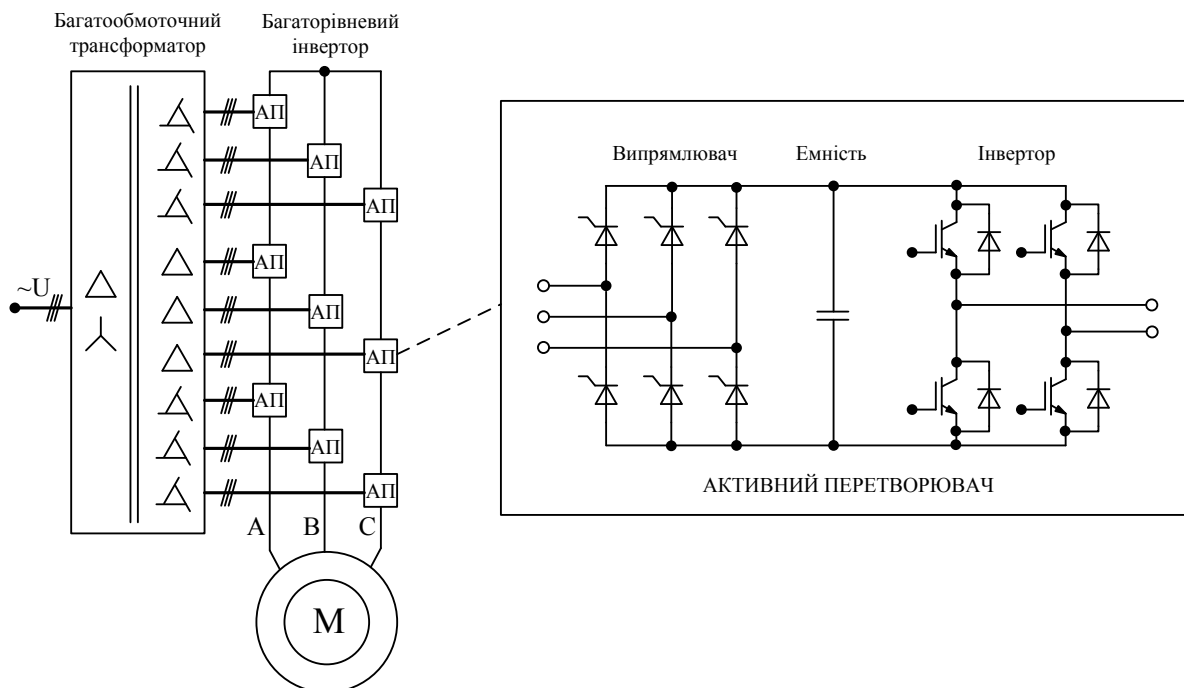


Рис. 2. Функціональна схема частотного перетворювача

Повертаючись до розглянутого об'єкта (рис. 1) можна припустити, що наявність складових 850-950 Гц пов'язана з базовою частотою ШІМ, а частота 3650 Гц є чотирьохкратною відносно базової, тобто в приладі використовується чотири силових комірки на кожну вихідну фазу. Жоден з виробників не вказує на можливість появи 17 гармонійної складової з амплітудою більш ніж 2 відсотки в будь-якому режимі роботи пристрою. Але в багатьох випадках передбачена можливість використання пристрою навіть за умови виходу з ладу частини силових комірок. Представляється вірогідним що саме такий випадок і був виявлений в ході замірів. Також скидаються можливими випадки неправильної роботи системи керування перетворювача або виникнення резонансу.

ВИСНОВОК

Використання пристроїв з активними випрямлячами в деяких випадках призводить до погіршення якості електричної енергії. При розробці та впровадженні нормативної бази та стандартів ПЯЕ слід врахувати можливі наслідки поширення подібних приладів з активними перетворювачами та розширити діапазон нормованих гармонійних складових не менш як до 200 гармоніки, тим більше, що реалізація подібних вимог на сучасній апаратній базі не є проблемою [3,4]. Також скидається доцільним проведення ряду досліджень щодо взаємодії подібних пристроїв з іншими елементами енергосистеми в тому числі і на можливість резонансних явищ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Контроль и учет электроэнергии в современных системах электроснабжения / В.И. Васильченко, О.Г. Гриб, Г.А. Сендерович и др. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 204с.
2. Метод измерения показателей качества и энергопотребления в электрических сетях // О.Г. Гриб, Р.В.Жданов, Д.А.Гапон, А.А.Зуев. /Наукові праці ДонНТУ №2(15) 2013 С. 87-91.
3. Контроль потребления электроэнергии с учетом ее качества / О.Г. Гриб, В.И. Васильченко, Г.А. Сендерович, П.Г. Щербакова и др.; под ред. О.Г. Гриба. –Харьков: ХНУРЭ, 2010. – 444с.

4. Yubo Duan Research and design of power quality monitoring equipment // Yubo Duan / International Conference on Measurement, Information and Control (MIC), 2012 Vol.2 PP 740 – 744

Надійшла до редакції 02.12.2013р.

ГРИБ ОЛЕГ ГЕРАСИМОВИЧ – д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації енергосистем, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, Україна.

ГАПОН ДМИТРО АНАТОЛІЙОВИЧ – к.т.н., доцент кафедри автоматизації енергосистем Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, Україна.

ЗУЄВ АНДРІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ – к.т.н., доцент кафедри автоматики та управління в технічних системах, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків, Україна.

ЖДАНОВ РОМАН ВІКТОРОВИЧ – начальник РЕМ, Красноградський РЕМ АТ «Харківобленерго», м. Харків, Україна.

УДК 621.316.7:519.863

Н.В. КОМЕНДА

КОМПЛЕКСНА МОРФОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ НАВАНТАЖЕННЯМ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

*Луцький національний технічний
університет, м. Луцьк, Україна*

Анотація. Запропонована комплексна морфометрична модель управління навантаженням систем електропостачання, що дозволяє вирішувати питання покращення режимів роботи мереж на основі управління їх навантаженням.

Аннотация. Предложена комплексная морфометрическая модель управления нагрузкой систем электроснабжения, которая позволяет решать вопросы улучшения режимов работы сетей посредством управления их нагрузкой.

Abstract. Complex morphometric model of the power systems loads management was proposed. It allows solving questions of networks modes improvements based on their load management.

Ключові слова: морфометрія, комплексна модель, управління навантаженням.

ВСТУП

Взаємозв'язок задач аналізу, планування та управління навантаженням систем електропостачання (СЕП) промислових підприємств вимагає створення цілісної комплексної моделі управління, що дозволить в режимі реального часу вирішувати складні питання покращення режимів роботи мереж та управління споживанням електроенергії їх споживачів. Функціонування та результативність даної моделі залежить в першу чергу від детальності оцінки параметрів процесу передачі, розподілу та споживання електроенергії у кожній точці мереж СЕП. Оскільки морфометричний підхід до аналізу добової нерівномірності графіка електричних навантажень (ГЕН) забезпечує значно більшу інформативність процесу аналізу [1-7] і дозволяє детальніше охарактеризувати нерівномірність у порівнянні з традиційним підходом [1-7], то його використання дозволить більш детально здійснювати розрахунки та аналіз у порівнянні з класичним підходом.

МАТЕРІАЛИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В попередніх працях нами здійснений детальний огляд компонентів комплексної моделі. Зокрема в [1, 3] побудовано комплексний критерій рівномірності ГЕН. В [1, 4] запропоновано метод кластерної морфометричної класифікації ГЕН. В [1, 5] розглянуто метод пошуку споживачів-регуляторів (СР) на промисловому підприємстві на основі морфометричного підходу. В [2] запропоновано метод морфометричного розрахунку втрат електроенергії в мережах СЕП. Вищеперелічені методи дозволяють утворити комплексну модель управління навантаженням систем електропостачання на основі використання загальноновизнаних принципів інтеграції, які дозволяють утворити цілісну модель з сукупності, що буде містити ряд визначальних властивостей і методів, які притаманні ряду вихідних моделей. При інтеграції моделей використаємо інформаційно-орієнтований принцип на основі інтеграції моделей та даних. Схематично комплексна модель наведена на рис. 1.

Комплексна модель управління навантаженням промислового підприємства дає змогу об'єднати в процесі управління різні рівні ієрархії СЕП (об'єкт і технічні засоби), що значно спрощує процес управління. В якості СР для рівня електропостачальної компанії можливо використання підприємств, а для рівня підприємств – окремих технологічних агрегатів (рис. 2).

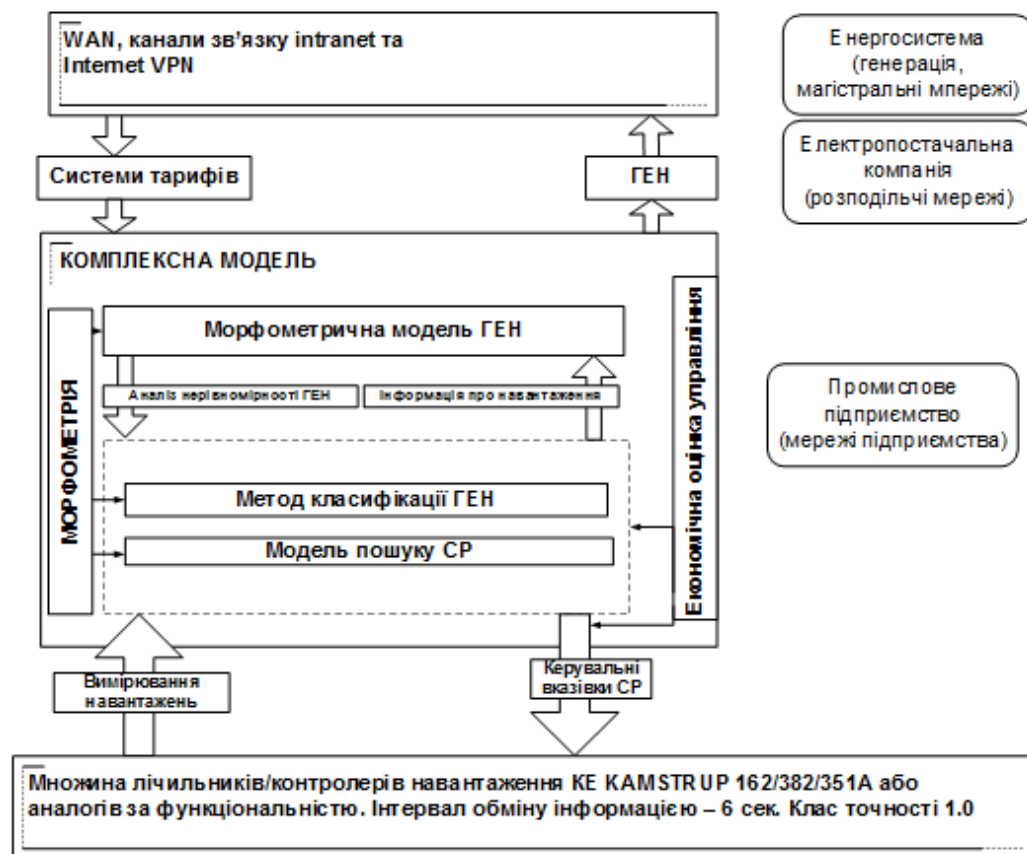


Рис. 1. Комплексна модель управління навантаженням СЕП промислового підприємства

Прослідкувати і проаналізувати вплив того чи іншого результату вирівнювання нижчого ієрархічного рівня на рівномірність ГЕН вищого рівня зручно здійснити на основі класифікації навантажень в морфометричних координатах M_1, M_2, M_3, M_4 . Визначення даних морфометричних координат наведено в [1; 3; 6; 7]. На рис.2 наведено приклад управління навантаженням на різних ієрархічних рівнях СЕП. Зміни режимів роботи СР прослідковуються у змінах морфометричних координат ГЕН цехів (груп споживачів). Ці зміни чинять безпосередній вплив на ГЕН вищого ієрархічного рівня і, відповідно, на його морфометричну оцінку. Внаслідок цього ГЕН вищого рівня може перейти з кластерної групи, що характеризується високим рівнем добової нерівномірності у групу, що має кращі показники добової нерівномірності. Приклад здійснення класифікації наведено в [4]. Даний підхід дозволить детально проаналізувати процес управління і вплив тих чи інших змін на різні ієрархічні рівні СЕП. В результаті це дозволить спростити та візуалізувати процес управління. Як результат ми зможемо прогнозувати вплив наших управлінських рішень на рівномірність ГЕН вищих рівнів СЕП і як результат, на зменшення нерівномірності ГЕН енергосистеми.

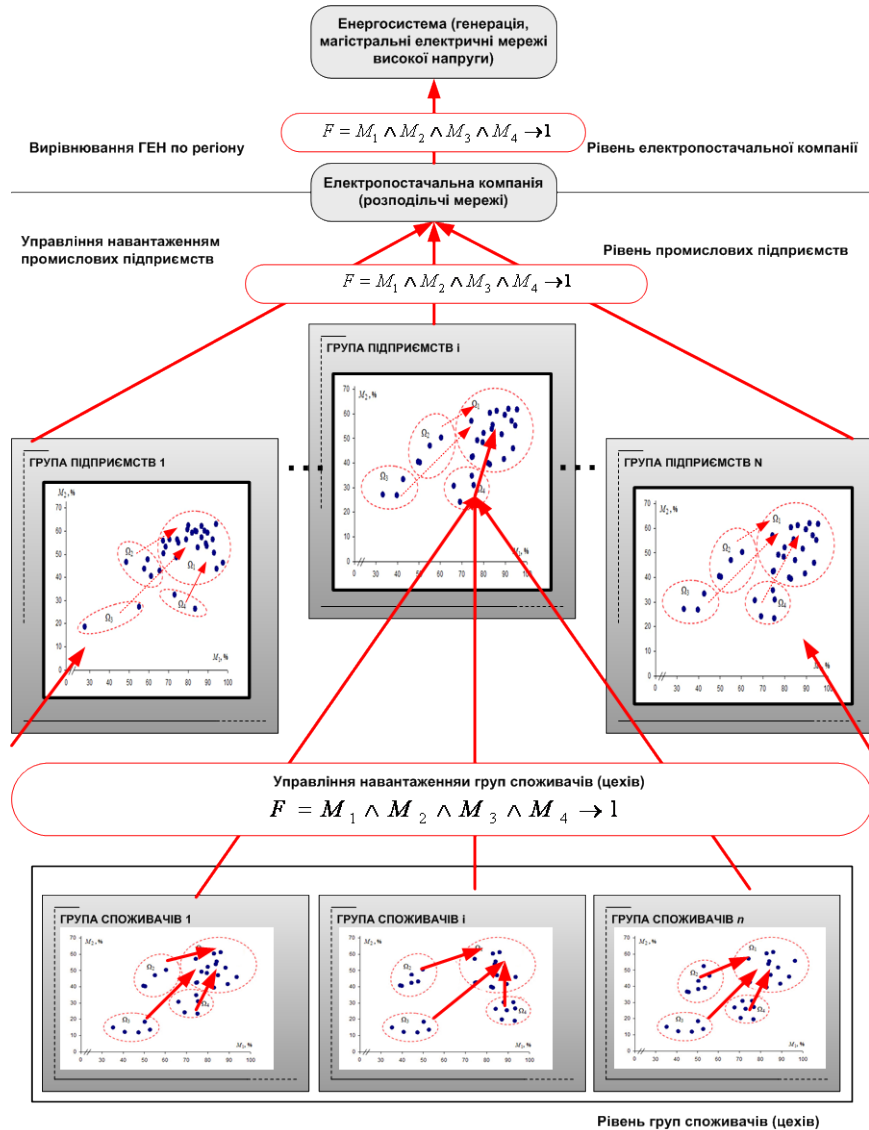


Рис. 2. Комплексне управління навантаженням на різних ієрархічних рівнях СЕС

Для реалізації системи управління необхідно побудувати таку систему технічного обліку електроенергії на підприємстві, яка дозволяла б зчитувати добовий ГЕН та передавати інформацію на сервер для її подальшого аналізу, зокрема визначення множини СР серед приймачів електроенергії підприємства. Технічне виконання системи доцільно здійснити з допомогою попередньо запрограмованих контролерів навантаження (КН), що вмикаються в точки підключення обладнання, зчитують значення спожитої потужності і передають інформацію через радіоканали на сервер аналізу електроспоживання (рис. 3).

Для побудови системи управління навантаженням пропонується використати розподілену дворівневу структуру, яка містить:

підсистему нижнього рівня, що забезпечує збір і первинну обробку інформації, видачу управляючих дій, на виконавчі механізми окремих енергетичних об'єктів і передачу інформації сигналізації і вимірювання на верхній рівень системи;

підсистему верхнього рівня, що забезпечує взаємодію з оператором, відображення параметрів вимірювання, вироблення і передачу управляючих команд, що управляють, на підсистеми нижнього рівня, накопичення даних, їх архівацію і формування звітів.

Підсистема нижнього рівня складається з сукупності КН. Підсистема верхнього рівня є сервером, на якому встановлено програмне забезпечення аналізу добової нерівномірності, пошуку СР, класифікації, що розроблене на основі морфометричних методів та моделей. Для зв'язку підсистем можуть бути використані технології безпроводного доступу у відповідності зі стандартом IEEE 802.11b.

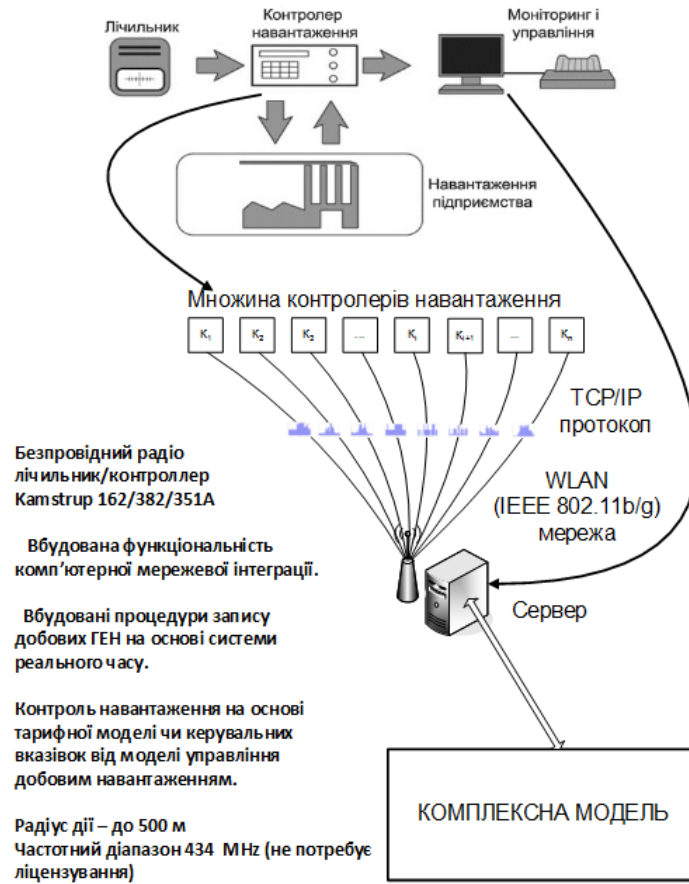


Рис. 3. Спрощена схема системи обліку та управління навантаженням СЕП промислового підприємства

На основі інформації від множини КН серверне програмне забезпечення здійснює аналіз нерівномірності добових ГЕН кожної одиниці обладнання, проводить узагальнення та накопичення інформації, забезпечуючи функціонування комплексної моделі.

Економічну оцінку результатів у процесі керування навантаженням СЕП на основі морфометричного підходу слід здійснювати наступним чином:

$$\Delta\Pi_{\Sigma} = \left[(E_{до\ упр.} - E_{після\ упр.}) + (\Delta W_{н.до\ упр.} - \Delta W_{н.після\ упр.}) \cdot n \right] \cdot T_{диф}, [\text{грн}], \quad (1)$$

де $E_{до\ упр.}$, [кВт·год] – спожита електроенергія за час спостереження, до здійснення керувального впливу; $E_{до\ упр.}$, [кВт·год] – очікуване споживання електроенергії за час спостереження, після керувального впливу; $T_{диф}$, [грн/кВт·год] – тариф на спожиту електроенергію; n , [год] – кількість годин спостереження; ΔW_n , [кВт·год] – навантажувальні втрати СЕП за добу [2]:

$$\Delta W_n = I_{меф}^2 \cdot R_e \cdot T = \left(\sqrt{S_{ГЕН^2} / T} \right)^2 \cdot R_e \cdot T = \frac{S_{ГЕН^2}}{T} \cdot R_e \cdot T = S_{ГЕН^2} \cdot R_e. \quad (2)$$

де R_e , [Ом] – еквівалентний опір мережі; $I_{меф} = \sqrt{S_{ГЕН^2} / T}$, [А] – ефективний струм обчислений за допомогою морфометричного підходу [2]; $S_{ГЕН^2}$, [А²·год] – площа графіка, створеного на основі середньоквадратичних навантажень [2].

Алгоритм функціонування комплексної моделі можна представити в наступному вигляді, рис.4.

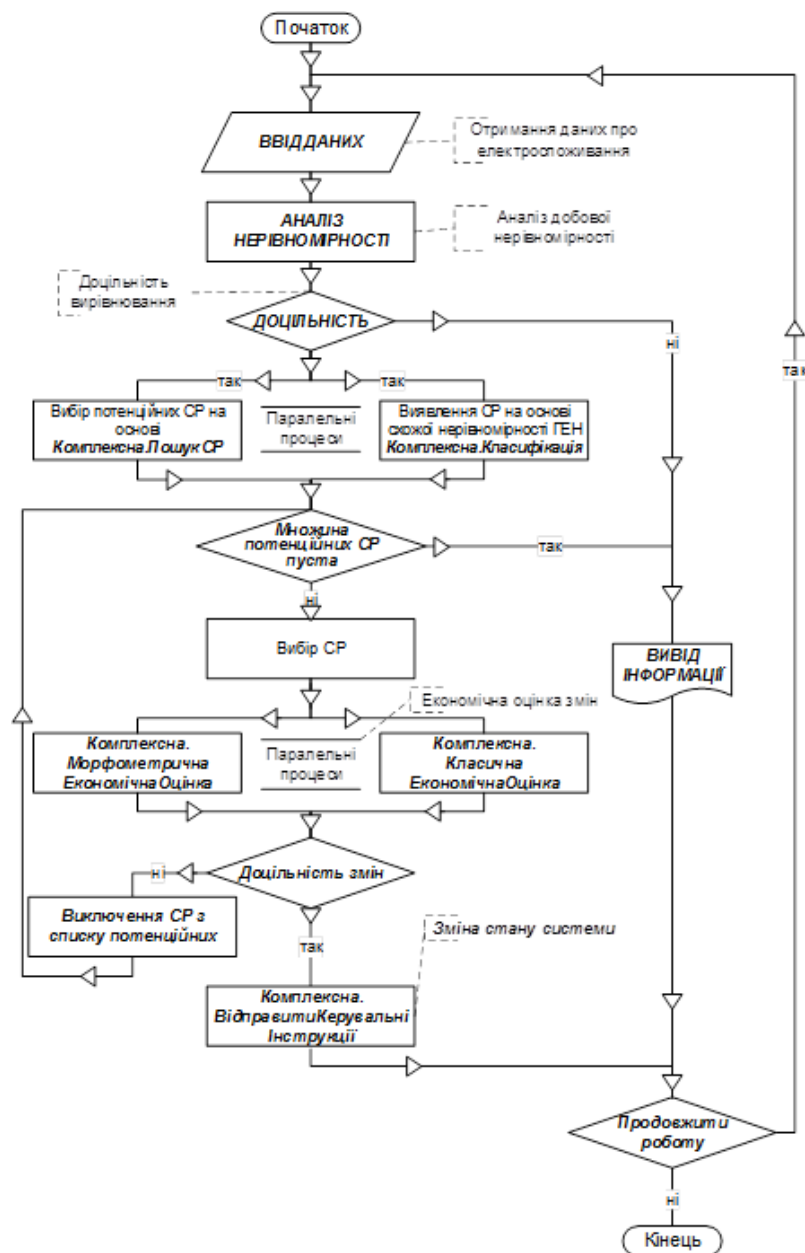


Рис. 4. Алгоритм функціонування комплексної моделі управління навантаженням СЕП промислового підприємства

ВИСНОВКИ

Для управління навантаженням системи електропостачання необхідно використовувати комплексну морфометричну модель, що в результаті приведе до зменшення оплати за електроенергію та зменшення втрат електроенергії від нерівномірності добового навантаження в мережах. Об'єднання аналізу нерівномірності, пошуку шляхів її зменшення та економічної оцінки процесу електроспоживання дозволяє оперативно моделювати процес електроспоживання та визначати шляхи його покращення. На основі запропонованих моделей та сучасної .NET технології створені комп'ютерні програми, які використовують сучасні бібліотеки введення, обробки та представлення інформації, дозволяючи інтегрувати їх в сучасні системи управління виробництвом:

Графік, що дозволяє будувати відображення графіка електричних навантажень у вигляді діаграми радарного типу та здійснювати розрахунок традиційних та морфометричних параметрів нерівномірності;

Пошук СР, що дозволяє здійснювати пошук споживачів-регуляторів за допомогою розробленої моделі на основі морфопараметричного мультиплікативного чи адитивного критерію;

Класифікація, що дозволяє здійснювати класифікацію графіків електричних навантажень у морфометричних координатах;

Комплексна, що дозволяє аналізувати нерівномірність графіків електричних навантажень, виявляти споживачів-регуляторів та доцільний режим їхньої роботи, здійснювати економічну оцінку варіантів зміни процесу електроспоживання та здійснювати прийом інформації та передачу керувальних вказівок контролерам навантаження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Komenda T. Morphometrical analysis of daily load graphs/ Komenda T., Komenda N. // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. Volume 42, Issue 1, November 2012.- P.721-727. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbr.2011.03.031>
2. Коменда Н. В. Морфометричний розрахунок навантажувальних втрат електроенергії / Н. В. Коменда, Т. І. Коменда // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №6. – С. 110–113.
3. Коменда Н. В. Морфометрична оцінка та критерій рівномірності графіка електричних навантажень / Н. В. Коменда // Вісн. нац. ун-ту „Львівська політехніка”. – 2010. – №666. – С. 42–46. (Електроенергетичні та електромеханічні системи).
4. Коменда Н. В. Морфометрична класифікація графіків електричного навантаження промислових підприємств / Н. В. Коменда // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №1. – С. 67–70.
5. Коменда Н.В. Пошук споживачів-регуляторів на основі морфометричного підходу при управлінні добовим навантаженням промислового підприємства / Н.В. Коменда, Т.І. Коменда, О.Д. Демов // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2010. – № 27. – С.22–26.
6. Демов О. Д. Морфометрична оцінка графіка електричних навантажень / О. Д. Демов, Н. В. Коменда, Т. І. Коменда // Промелектро. – 2008. – № 4. – С. 22–25.
7. Демов О. Д. Морфометрія графіка електричних навантажень / О. Д. Демов, Т. І. Коменда, Н. В. Коменда // Енергетика та електрифікація. – 2009. – № 8. – С. 59–62.

Надійшла до редакції 06.12.2013р.

КОМЕНДА НАТАЛІЯ ВОЛОДИМИРІВНА – доцент кафедри електропостачання, Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ (INTERNET, INTRANET ТОЩО) ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ МЕРЕЖАХ

УДК 681.3.021

В.П. КОЖЕМ'ЯКО, В.І. МАЛІНОВСЬКИЙ, Я.І. ЯРОСЛАВСЬКИЙ

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ В МОДЕЛІ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ІЗ РОЗПОДІЛЕНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна*

Анотація. В роботі проаналізовані сучасні типи фотоелектричних перетворювачів, які перетворюють сонячну енергію у електроенергію для живлення інформаційних мереж. Проаналізовано енергетичну ефективність фотоелектричних перетворювачів для вибору і застосування їх в якості розподілених енергетичних джерел в інформаційних мережах. Запропоновано модель розподіленої інформаційної мережі з фотоелектричними перетворювачами сонячного випромінювання у вузлах, яка має вищу енергетичну автономність та інформаційну стабільність.

Ключові слова: фотоелектричний перетворювач (ФЕП); інформаційна мережа (ІМ); розподілені джерела енергії на ФЕП, волоконно-оптичний канал.

Аннотация. В работе проанализированы современные типы фотоэлектрических преобразователей, которые превращают солнечную энергию в электроэнергию для питания информационных сетей. Проанализирована энергетическая эффективность фотоэлектрических преобразователей для выбора и применения их в качестве распределенных энергетических источников в информационных сетях. Предложена модель распределенной информационной сети с фотоэлектрическими преобразователями солнечного излучения в узлах, которая имеет большую энергетическую автономность и информационную стабильность.

Ключевые слова: фотоэлектрический преобразователь (ФЭП); информационная сеть (ИС); распределенные геоинформационно-энергетические сети, волоконно-оптический канал.

Abstract. The modern types of photovoltaic converters, which convert sunny energy into electric power for the feed of informative networks are in-process analyzed. In article was analyzed power efficiency of different types of photovoltaic cells for the purpose of them application as the distributed power sources in data networks. Is offered the model of the distributed data network with the solar photovoltaic converters in the network nodes, that has a high information stability and power uninteraption.

Key words: photovoltaic converter, data network, distributed geoinformation-power networks, fiber-optical channel.

ВСТУП

В сучасних інформаційних мережах, які стрімко розвиваються в наш час, постає важливе завдання забезпечення високого рівня стабільності функціонування наряду із збільшенням важливості інформації, яка зберігається, обробляється та передається. Сфера застосування комп'ютерних інформаційних мереж (ІМ) постійно розширюється від локальних корпоративних мереж до інформаційних мереж регіонального і глобального рівня, більшість з яких організовані в основному на базі архітектури «клієнт-сервер» [1].

Комп'ютерна інформаційна мережа являє собою сукупність апаратно-програмних засобів і обчислювальних станцій та допоміжного комутуючого, передаючого, ретрансляційного обладнання, яке зв'язано між собою каналами передавання інформації. Всі ІМ виконують дві основні важливі інформаційні

функції: 1) надійний колективний доступ та оброблення інформації за допомогою обчислювальних структур; 2) високостабільне передавання інформації між обчислювальними структурами ІМ, вузлами та іншими компонентами мережі. Більшість ІМ мають ієрархічний тип організації і використовують базові топології типу «кільце», «дерево», «шина», «зірка» або «куб».

На всіх рівнях ієрархії мереж постає надзвичайно важлива проблема підвищення стабільності функціонування апаратно-програмних комплексів ІМ. Традиційно вона вирішується використанням резервного копіювання даних та резервування апаратури і каналів зв'язку із використанням апаратної збитковості. Але не завжди вдається вирішити завдання підвищення стабільності функціонування ІМ традиційними шляхами. Крім того, при використанні резервування апаратно-програмних засобів, значно підвищуються затрати на інсталяцію та експлуатацію мереж.

Для вирішення цього завдання необхідний пошук нових та вдосконалення існуючих шляхів підвищення стабільності як на рівні представлення та кодування інформаційних даних, так і на основі вдосконалення архітектури мереж із врахуванням і надійного енергопостачання апаратних складових ІМ: серверів, комутаторів, шлюзів, абонентських станцій та віддаленого обладнання.

Аналіз характеру і причин збоїв в інформаційних мережах, проведений в [2, 3] показав, що більшість відказів ІМ викликані перебоями в мережі енергетичного живлення або недостатнім рівнем забезпечення резервного енергоживлення за допомогою традиційних джерел безперебійного живлення (ДБЖ). Тому, одним із перспективних можливих шляхів підвищення інформаційної стабільності є забезпеченням енергетичної автономності за допомогою розподілених альтернативних (відновлювальних) джерел енергії. Такими джерелами можуть бути сонячні фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), з яких складаються промислові модулі сонячних батарей та їх поєднання із іншими перспективними технологіями генерації та передачі енергії.

Для забезпечення високої інформаційної стабільності та надійності функціонування мереж потрібно застосовувати нові технічні засоби, в якості яких можуть виступати розподілені фотоелектричні джерела енергії. Також для вирішення цього завдання на якісному рівні повинні бути розроблені нові методи та підходи інформаційного кодування при передаванні інформації в каналах зв'язку мережі.

Метою статті є аналітичний огляд та вибір оптимального типу технологій фотоелектричних перетворювачів сонячного випромінювання, для застосування в моделі інформаційних мережах в якості розподілених енергетичних джерел.

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Зараз напряму сонячної енергетики приділяється багато досліджень і розробок, оскільки фотовольтаїка є одним із найбільш швидкозростаючих секторів техніки і може бути використана як ефективний засіб підвищення стабільності функціонування ІМ по енергетичній складовій. Одним із перспективних способів підвищення стабільності функціонування обладнання, є використання автономних джерел енергії на базі фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), які перетворюють сонячне випромінювання в електроенергію.

Основним розповсюдженим типом ФЕП є кремнієві фотогоальванічні комірки (рис. 1.). В якості матеріалу сучасні ФЕП використовуються здебільшого кристалічний кремній Si, але існують багато перспективних розробок ФЕП [4] на базі аморфного кремнію (Si) та галій арсеніду (GaAs) [5], наночарів вуглецю (C) [5] та інших матеріалів.

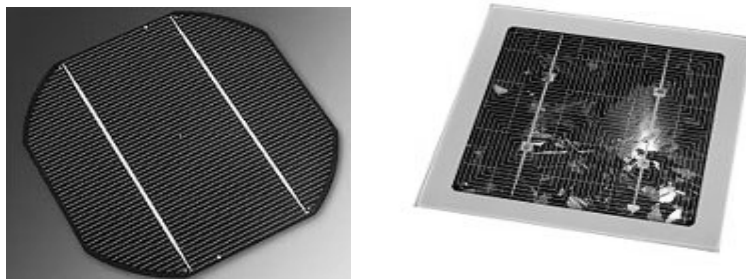


Рис.1. Фотоелектричні перетворювачі на основі кристалічного кремнію (Si)

Комірки ФЕП, з яких будуються фотоелектричні панелі перетворюють оптичну світлову енергію Сонця в електроенергію. Основною характеристикою ФЕП є ефективність фотоелектричного перетворення або коефіцієнт корисної дії (ККД), який для наявних на сьогоднішній день технологічних промислових ФЕП лежить в межах від 12 % до 22% для кристалічних кремнієвих ФЕП [5, 6] та досягає значень 39-45% для концентраторних ФЕП на основі GaAs та інших перспективних розробок [5]. Промисловий кремнієвий фотоелектричний модуль являє собою деяку кількість одиночних комірок

ФЕП, що механічно об'єднані в одній конструкції і електрично з'єднані для отримання визначеного рівня електричної енергії. Промислові сонячні панелі зазвичай виготовляються на номінали 180-300Вт із встановленими рівнями робочих струму та напруги (від 12В до 48В при струмі 3.5-15А). До переваг сонячних систем можна віднести:

- доступність і невичерпність сонячного випромінювання – як автономного джерела енергії;
- теоретично повна екологічна безпека для навколишнього середовища;
- економічність при використанні ФЕП;
- мінімальний рівень планового технічного обслуговування та висока надійність (близько 25-50 років експлуатації якісних фотоелементів, із втратою потужності до 20% від початкової);

Не зважаючи на переваги, сонячних фотоелектричних систем мають також і недоліки:

- не повне перетворення світлової енергії в електричну;
- залежність від погоди, часу доби та пори року, і як наслідок необхідність акумуляції енергії;
- порівняно висока вартість конструкції на сьогоднішній день (до 1.0-1.2\$/1Вт встановленої потужності всієї системи станом на 2013р.). Але вартість ФЕП постійно знижується та за останні 2 роки зменшилась майже вдвічі, за рахунок масового виробництва кремнієвих ФЕП у всьому світі;
- необхідність періодичного очищення поверхні від пилу та атмосферних опадів;

Хоча існує деякий ряд недоліків, переваги від процесу отримання сонячної електроенергії значно більше і вони носять більш якісний характер особливо для задач автономного енергозабезпечення в локальних місцях, таких як інформаційні комп'ютерні мережі.

В промислових проектах і розробках широкого поширення отримали 7 типів фотоелектричних перетворювачів та сонячних батарей на їх основі:

- ФЕП на монокристалічному кремнії з енергетичною ефективністю (ККД) до 22 %;
- ФЕП на основі полікристалічного кремнію (ККД до 21%);
- Тонкоплівкові ФЕП на основі аморфного кремнію Si (ККД до 12-14%);
- Концентраторні ФЕП на основі GaAs або інших матеріалів (ККД до 45-50%);
- ФЕП на основі нанотехнологічних матеріалів (кремній Si, арсенід галію GaAs, нанорозмірний вуглець C, складні сполуки полі органічних матеріалів) з ефективністю від 10 до 35%;
- CdTe/CIS/CIGS (кадмій-теллури) фотоелектричні модулі (ефективність до 15-18%).
- Багатошарові ФЕП аморфного кремнію та CdTe – плівок.

У більшості економічно дешевих ФЕП використовується аморфний кремній, що дозволяє досягати енергетичної ефективності комірки до 7-11% [4]. У якісних ФЕП, з яких будують промислові сонячні електроенергетичні системи, використовується монокристалічний або полікристалічний кремній з технологічним ККД 18-22 % [4, 6]. Різниця між монокристалічними та полікристалічними ФЕП складає 1-3% по показнику енергетичної ефективності. Це забезпечується за рахунок того, що полікристалічні пластини фотоматеріалу більш толерантні до косих та неортогональних світлових променів (краще сприймають розсіяне та кутове світло). Середній показник вироблення електричної енергії в цих типах ФЕП практично однаковий (відрізняється на 1-1.5%), як й їх вартість в останніх комерційних моделях. В концентраторних ФЕП на базі арсеніду галію GaAs досягнута ефективність (ККД) до 45% [5], що є найвищим значенням для промислових зразків. Але такий тип ФЕП має вагомий недолік – високу вартість технології, що в 5-10 разів вища за інші типи. Органічні матеріали та нанотехнологічні підходи для реалізації ФЕП не набули широкого поширення за межами лабораторних досліджень, за рахунок нестабільності в часі основних електричних та оптичних параметрів. Такі фотоелектричні модулі мають не значний час експлуатації та високий коефіцієнт фотодеградації [4].

За рахунок порівняно невеликого зниження потужності у порівнянні із поширеними фотоелементами, тонкоплівкові фотоелементи дозволяють значно раціональніше використовувати кремній Si. В якості альтернативних варіантів кремнієвим кристалічним ФЕП використовуються розробки тонкоплівкових ФЕП з аморфного кремнію, в яких на відміну від кристалічного матеріалу немає структурованого положення атомів. В аморфного кремнію гірше напівпровідникові властивості та в результаті менший ККД перетворення світла. В технологіях CSG (Crystalline Silicon on Glass), CdTe (кадмій-теллури) та CIS в панелях ФЕП використовується спеціальний технологічний процес, що дозволяє наносити тонкий шар кристалічного кремнію (близько 2мкм) безпосередньо на скляні підкладки, тоді як товщина традиційних ФЕП складає 0.2-0.3мм (200-300мкм) [7]. Електричні контактні провідники в комірках ФЕП підключають із використанням технології лазерного зварювання або трафаретного друку. Перші фотоелектричні модулі, зроблені за технологіями CSG або CIS мали ККД близько 7%, за технологією CdTe – близько 9%. Основними матеріалами таких модулів ФЕП є мідь (Cu), індій (In) та селен (Se). В деяких розробках ФЕП (такі елементи позначалися як CIGS) використовувався також галій (Ga). CIS модулі мають найбільший ККД серед цієї групи ФЕП – до 11% [8]. Також розробляються технології та методи створення багатошарових ФЕП [10] з вищою ефективністю, в яких кожен шар поглинає відповідно свою ділянку спектру сонячного випромінювання. Існує багатошарова технологія

створена ФЕП, яка передбачає розміщення від 3-х до 10-ти шарів напівпровідника із різним ступенем легування і відповідно різною областю активного поглинання спектра випромінювання, які розміщують послідовно для кожного наступного шару. Завдяки N-кількості шарів, такий тип ФЕП може перетворювати видиме сонячне випромінювання з ефективністю у 1.5-2 рази вище. Загальний ККД багатошарових тонкоплівкових 17-18% [4, 5]. Це менше у порівнянні із традиційними кристалічними фотоелектричними панелями, що пояснюється поглинанням світла і тепловими втратами енергії в об'ємній структурі напівпровідникового матеріалу. Товщина одиничної плівки ФЕП такого типу складає близько 20 нм, при ефективному виході до 20 мА електричного струму з кожного квадратного сантиметра.

ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ КОНЦЕНТРАТОРНОГО ТИПУ

Перспективною з точки зору ефективності і компактності для використання в ІМ є технологія концентраторних ФЕП на основі GaAs [5, 9-11], які базуються на використанні напівпровідникових структур GaAs або інших матеріалів типу $A^{III}B^V$. В концентраторних комірках CPV (Concentrating Photovoltaics) передбачено фокусування сонячного випромінювання за допомогою плоских лінз Френеля на фотоелементи GaAs з невеликою площею та відносно малими геометричними розмірами, які працюють при високих значеннях інтенсивності (рис.2).

Промисловістю виготовляються одноперехідні та гетероперехідні AlGaAs/GaAs концентраторні ФЕП. Одноперехідні (з одним гетеропереходом) фотоелектричні модулі з ККД близько 30% та багатоперехідні багатошарові ФЕП на базі гетероструктур на твердих розчинах AlGaAs/GaAs - In/InGaAs - (або GaSb) із ККД до 45-52% [9, 11]. У результаті проведених досліджень і розробок компаніями-виробниками створюються фотоелектричні модулі на базі 16-ти, 24-х і 48-ми елементними лінзовими блоками і модулями на гетероструктурах AlGaAs/GaAs. Вони орієнтовані для застосування у високопродуктивних сонячних елементах для задач локального забезпечення енергетичного живлення. ФЕП концентраторного типу, які концентрують потік випромінювання на активний напівпровідник меншої площі показано на рис. 3 та рис. 4.

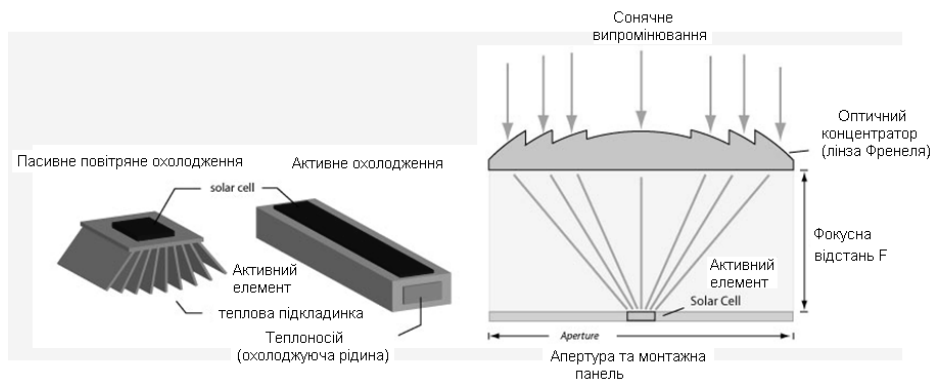


Рис.2. Фотоелектричні перетворювачі концентраторного типу CPV: а) конструкція та кріплення активного елемента на систему охолодження; б) використання оптичної схеми із лінзою Френеля для фокусування сонячного випромінювання на активну ділянку ФЕП

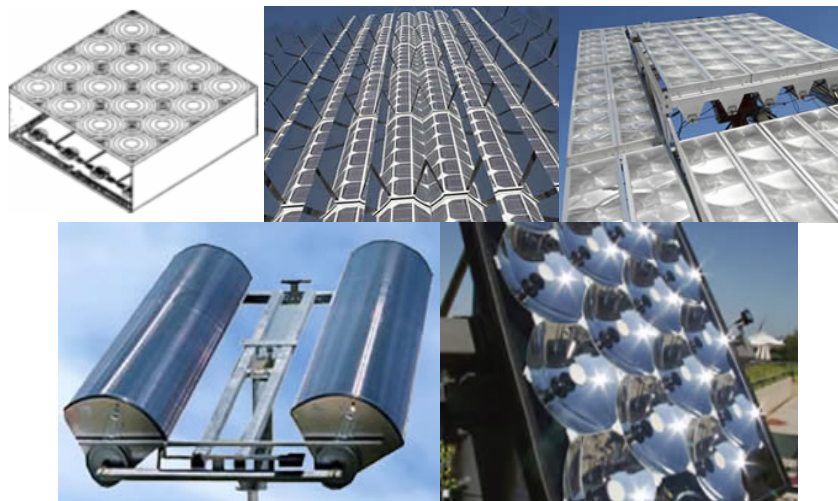


Рис.3. ФЕП із концентраторами на основі лінз Френеля, що встановлені на промислових об'єктах [10]

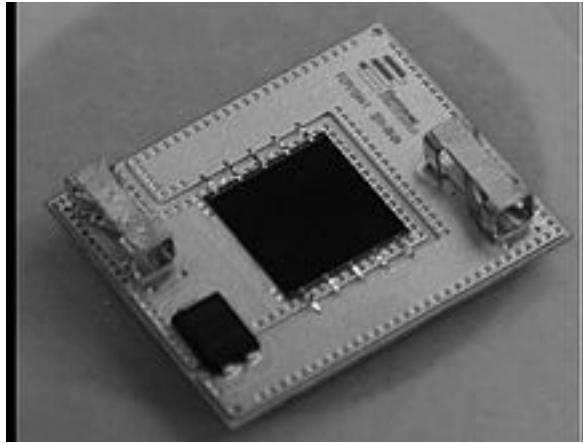


Рис.4. Фотографія CPV- комірки концентраторного модуля ФЕП на основі GaAs [10]

Концентрування сонячного випромінювання дозволяє підвищити ККД гетероструктурних ФЕП до 35% і більше в одноперехідних елементах, та до 45% [10] – у каскадних багатоперехідних. Відповідно загальна площа і маса установок з концентраторами, витрата матеріалів і обсяг робіт також зменшуються. В космічній галузі такі ФЕП на основі GaAs і з'єднань A_3B_5 використовуються для забезпечення автономного живлення супутникового обладнання з високим ККД та в умовах вищого радіаційного впливу та інших агресивних факторів у порівнянні з кремнієвими ФЕП.

Конструкція концентраторних ФЕП передбачає використання систем концентрування сонячного випромінювання на основі оптичної системи з плоских або сферичних дзеркал (рис. 5).

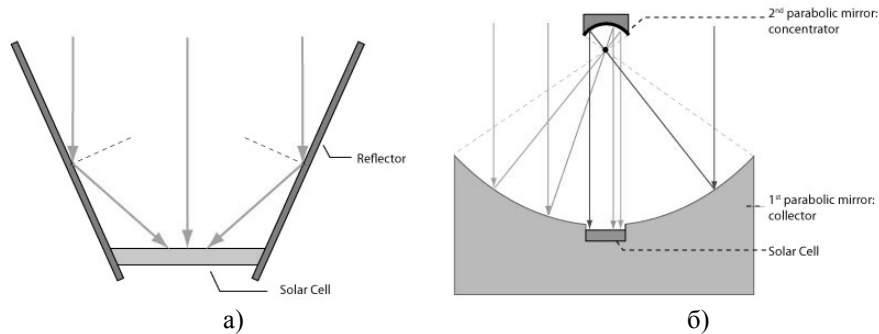


Рис.5. Конструкції концентраторів сонячного випромінювання: а) лінійного дзеркального типу; б) на основі сферичних дзеркал

В деяких роботах [10, 11] повідомляється, що в окремих лабораторних розробках отримані концентраторні сонячні елементи із ефективністю більше 47%. Кращі результати по показнику ефективності фотоелектричного перетворення з ККД $\approx 47.5\%$ показують концентраторні ФЕП на основі гетероструктур GaAs (галій арсенід) з оптичними концентраторами на лінзах Френеля, виготовлені у ФТІ ім. Йоффе [12] та функціонують у спектральному діапазоні 0,55-3.7 мкм (рис. 6). Основним недоліком концентраторних ФЕП є їх висока собівартість та технологічна складність у порівнянні із традиційними ФЕП.

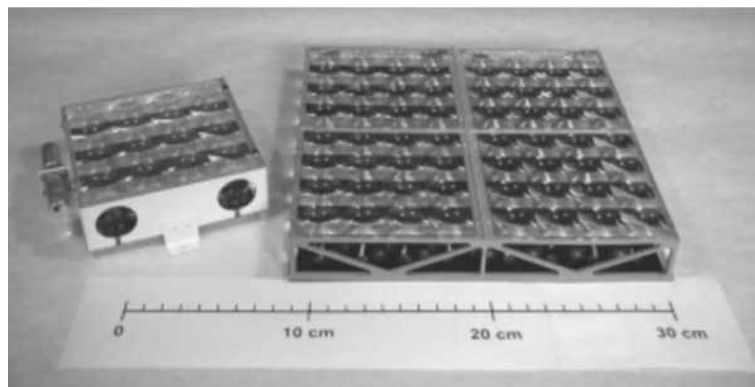


Рис.6. Конструктивне виконання концентраторних ФЕП виробництва ФТІ ім. Йоффе [12]

Енергетичні можливості таких ФЕП складають до 0.46 кВт/м^2 при інтенсивності світлового випромінювання 1 кВт/м^2 . Слід відзначити, що в більшості серійних ФЕП і сонячних панелей на їх основі цей показник становить $130\text{-}140 \text{ Вт/м}^2$ в стандартних умовах STC (Standart Test Conditions).

На даний момент світові дослідницькі організації, такі як EPIA, Munich Photovoltaic Research Institute, MIT займаються проблемами підвищення ефективності та робочих характеристик сонячних комірок то віддають перевагу нанотехнологічним методам інтеграції домішок кремнію (Si) та арсеніду галію (GaAs) у вигляді наноточок у тверді підкладки. Це дозволяє досягти поки що в промислових серіях високих значень ефективності з ККД $>43.5\%$ [13] та високої надійності роботи фотоелектричних перетворювачів.

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФЕП

Енергетичні можливості промислових кристалічних ФЕП, які виготовляються серійно, складають до $170\text{-}280 \text{ Вт/м}^2$, при щільності оптичної потужності 1 кВт/м^2 . На рис. 7 наведено порівняння умовних активних площ фотоелектричних перетворювачів різних типів, що необхідні для вироблення 1000 Вт електроенергії.

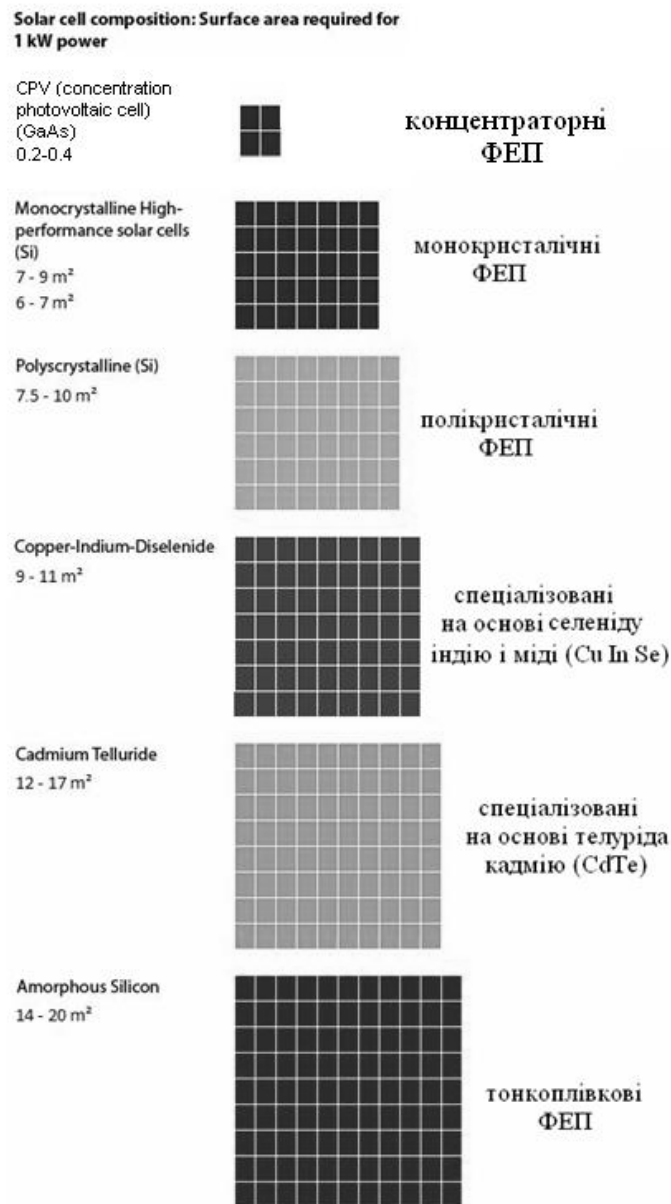


Рис.7. Порівняння площ різних типів ФЕП для отримання 1кВт електричної енергії: для монокристалічного $6\text{-}9 \text{ м}^2$; полікристалічного $7.5\text{-}10 \text{ м}^2$; тонкоплівкового $14\text{-}20 \text{ м}^2$; концентраторні ячейки $0.2\text{-}0.4 \text{ м}^2$

Із рис. 7 видно, що для більшості кристалічних та тонкоплівкових (в т.ч. аморфних) ФЕП, потрібна значна площа поверхні для отримання однакового значення енергії, через невисокий ККД. Це

обмежує їх використання по геометричним розмірам в деяких задачах, в тому числі і у вузлах інформаційних мереж. Для промислового і локального використання найчастіше застосовуються модулі з полікристалічного чи монокристалічного кремнію. Тонкоплівкові батареї, в процесі роботи краще сприймають розсіяне випромінювання та мають менші втрати потужності при затемненні окремих областей. Також вони краще функціонують при вищих робочих температурах, однак через низький ККД значно поступають кристалічним та концентраторним ФЕП.

Сонячні ФЕП з аморфного кремнію використовуються рідше, за рахунок низьких значень ККД та стабільності параметрів в часі. Спеціалізовані тонкоплівкові технології, такі як Copper Indium Diselenide і Cadmium-Telluride (CdTe) сьогодні також застосовуються рідше, за рахунок тих же факторів та високої токсичності хімічних елементів. Проте тонкоплівкові ФЕП мають перевагу перед кристалічними – меншу у 10-100 разів товщину та використання матеріалів, а також більшу здатність до перетворення дифузного світла у порівнянні із кристалічними ФЕП.

Сонячні фотоелектричні перетворювачі концентраторного типу (CPV) мають найбільшу ефективність по показнику площі. Тому їх використання є пріоритетним варіантом для створення компактних систем автономного енергетичного живлення апаратних блоків інформаційних мереж.

У концентраторних ФЕП енергія оптичного випромінювання сонячного спектру перетворюється у електричну форму шляхом внутрішнього фотоелектру у напівпровідникових фотоелементах на основі гетероструктур A_3B_5 , матеріалів кремнію Si, германію Ge, індію In, арсеніду As та галію Ga та їх твердих розчинів SiP, GeIn, GaAsP, InGaAs, InGaAsP та AlGaAs-GaAs. Такі фотоелементи і модулі на їх основі мають малу ефективну робочу площу S_{ef} до $1m^2$ і менше, яка пропорційна відсотку отриманої енергії. Вихідна потужність модуля ФЕП буде пропорційна прийнятій інтенсивності оптичної потужності сонця I_{opt} ($I_{opt}=P_{opt}/S$, Вт/м²), величині коефіцієнта корисної дії перетворення η , коефіцієнта поглинання k , ефективній площі S_{ef} , а також косинусу кута падіння α :

$$P_{FEP} = I_{FEP} \cdot U_{FEP} = \eta \cdot k \cdot I_{opt} \cdot S_{ef} \cdot \cos \alpha. \quad (1)$$

Отже аналізуючи ефективність ФЕП, можна зробити висновок, що при нехтуванні показниками вартості фотоелементів, оптимальним типом ФЕП для використання у ІМ є концентраторні модулі фотоелектричних перетворювачів на основі GaAs, оскільки мають найвищий ККД при найменших геометричних розмірах.

Для більш ефективного перетворення, кут падіння випромінювання на активну поверхню α повинен максимально наближатися до 90° , що відповідає умові максимального перетворення при $\cos 90^\circ = 1$ у (1), тобто:

$$P_{FEP} = \eta \cdot k \cdot I_{opt} \cdot S_{ef}. \quad (2)$$

Вироблення електроенергії у стаціонарних (не слідкуючих за Сонцем) ФЕП помітно змінюється протягом доби та може зменшуватись на 30-40% від максимального значення. Це можна показати, оскільки при відмінному від 90° куті падіння косинус кута в (1) змінюється від 0.2 до 1. та викликає відповідне зменшення ефективної вихідної потужності.

Коефіцієнт корисної дії ФЕП світлової енергії в електричну визначається за формулою:

$$\eta = \frac{P_{elect}}{P_{optic}} \cdot \gamma \cdot 100\% \approx \frac{I_r U_r}{\Phi \cdot S \cdot \sin \varphi} \cdot \gamma \cdot 100\% \quad (3)$$

де I_r , U_r – робочі електричні струм та напруга; Φ – світловий потік; S – площа активної поверхні; φ – кут падіння променів; γ – коефіцієнт квантової ефективності; P_{elect} , P_{optic} – електрична та оптична потужності.

Коефіцієнт корисної дії фотоелемента збільшується з ростом світлового потоку Φ і фотоелектрорушійної сили U_r . Однак при великих значеннях світлового потоку Φ з ростом концентрації вільних носіїв зростає кількість їх рекомбінацій екситонів (злиття пар електрон-дірка) в напівпровідниковій структурі. В результаті збільшення температури модуля при великих Φ збільшується струм I , що також є причиною зниження ККД.

ФАКТОРИ ВПЛИВУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ У ФЕП ТА ШЛЯХИ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ

Ефективність перетворення сонячної енергії в значній мірі зменшується через відбивання від поверхні ФЕП. Також через особливості побудови фотоелектричних перетворювачів виникають зниження ефективності сонячних панелей із ростом температури. Часткове затемнення панелі викликає падіння вихідної напруги за рахунок втрат у неосвітленій області, яка виступає в ролі паразитного

навантаження. Даний фактор виключається в промислових варіантах ФЕП шляхом установки схеми комутації та шунтування затемнених комірок фотоелемента.

Для досягнення найбільшої ефективності по робочій вольт-амперній характеристиці фотоелектричної панелі, необхідний правильний підбір опору навантаження, що здійснюється за допомогою контролера керування ФЕП.

Ефективність перетворення також залежить від електрофізичних характеристик неоднорідної напівпровідникової структури, а також оптичних властивостей ФЕП, серед яких найважливішу роль грає фотопровідність, яка визначена явищами внутрішнього фотоэффекта в напівпровідниках.

Основні втрати енергії у ФЕП пов'язані з:

- відбиванням оптичного випромінювання від поверхні перетворювача;
- проходженням частини випромінювання через ФЕП без поглинання;
- розсіюванням на теплових коливаннях напівпровідникової ґратки надлишкової енергії фотонів (ріст температури ФЕП);

- неповною освітленістю активної площі ФЕП;
- конструктивними та фізико-хімічними особливостями матеріалу ФЕП.

Для зменшення усіх видів втрат енергії у сонячних ФЕП успішно застосовуються наступні заходи:

- 1) використання напівпровідників з оптимальною для сонячного випромінювання шириною забороненої зони, орієнтованих на ширший спектр;
- 2) технологічне покращення і адаптація властивостей напівпровідникової структури шляхом її оптимального легування і створення вбудованих електричних полів;
- 3) перехід від гомогенних до гетерогенних напівпровідникових структур;
- 4) оптимізація конструктивних параметрів ФЕП (глибини залягання p - n переходу, товщини базового шару, частоти контактної сітки тощо);
- 5) застосування оптичних просвітлюючих покриттів [5];
- 6) створення каскадних ФЕП із змішаною схемою включення.

Фотоелектричні перетворювачі, які застосовуються у автономних енергетичних системах ІМ повинні відповідати ряду вимог, в першу чергу високому ККД перетворення оптичного випромінювання та компактності геометричних розмірів.

ФЕП з параметрами, що відповідають всьому комплексу вимог до перспективних технологій автономного енергетичного живлення, можуть бути отримані лише при створенні багатоперехідних каскадних на основі концентраторних гетероструктурних ФЕП на базі напівпровідників групи A^3B^5 , в тому числі на монокристалах арсеніду галію ($GaAs$) з домішками кремнію (Si). Збільшення кількості p - n переходів у каскадних ФЕП дозволяє розширити область фотоактивного поглинання випромінювання та зменшити втрати енергії. Каскадний гетероструктурний ФЕП з 4–5-ма p - n переходами має ККД на 20–30% більший, на відміну від одноперехідного.

При характерній для концентраторних ФЕП робочій температурі порядку $T=400-450$ К ($130-180^\circ C$), їх граничний теоретично можливий ККД складає до 65 % [5]. У лабораторних умовах ККД ФЕП вже досягнуть 45–53 %, і судячи по стрімкій тенденції, його підвищення цілком реально понад 50–55 %.

Основні вимоги до ФЕП. Фотоелементи для промислового використання в автономних колах живлення інформаційних вузлів повинні задовольняти таким вимогам:

- високий ККД;
- високі значення напрацювання на відмову (надійність) (до 10^6 год);
- мінімальні габаритні вага та оптимальна геометрія комірок;
- зручність та мінімальність технічного обслуговування;
- відносно невисока собівартість.

Відповідність цим вимогам може бути досягнута лише при організації цілком автоматизованого технологічного виробництва ФЕП на основі концентраторної технології.

На основі аналізу технологій побудови ФЕП було встановлено, що оптимальним для забезпечення енергоавтономності вузлів ІМ є ФЕП концентраторного типу CPV на основі гетероструктур ($GaAs$) з домішками кремнію (Si).

МОДЕЛЬ ІМ З ПІДВИЩЕНОЮ СТАБІЛЬНОСТЮ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Підхід використання резервування апаратно-програмних засобів дозволяє вирішити завдання ефективного підвищення стабільності роботи мережі (стабільність процесу оброблення і передавання інформації) тільки частково, оскільки не враховує фактори надійного енергетичного живлення – першооснови функціонування будь-яких електронних інформаційних систем.

Для проміжних вузлів інформаційних мереж (регенератори, шлюзи, концентратори, мости, маршрутизатори, оптичні підсилювачі, активні комутатори) необхідно передбачити можливість безперебійного живлення від альтернативних джерел енергії або від резервних енергетичних каналів.

Перспективним шляхом в цьому є використання ФЕП для перетворення сонячного випромінювання безпосередньо в електроенергію для живлення компонентів мережі, що відповідає сучасним світовим перспективним тенденціям застосування енергоефективних інформаційних технологій на фотоелектричних системах. Для побудови високоефективної моделі ІМ необхідне створення окремих виділених середовищ передавання інформації із власною структурою енергетичного живлення на базі альтернативних джерел.

Приклад використання ФЕП для живлення автономного вузла камер відеоспостереження та блоку охолодження комп'ютерної системи наведено на рис. 8 та рис. 9.

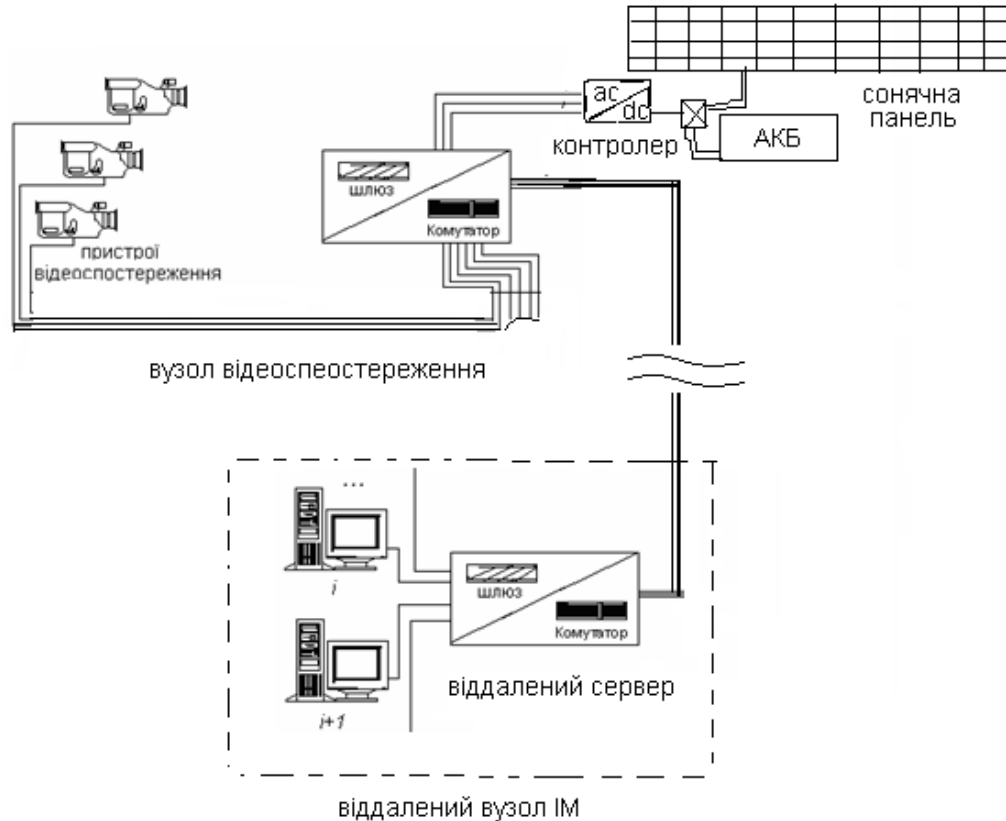


Рис.8. Схема організації вузла відеоспостереження інформаційної мережі автономного живлення за допомогою комплексу ФЕП

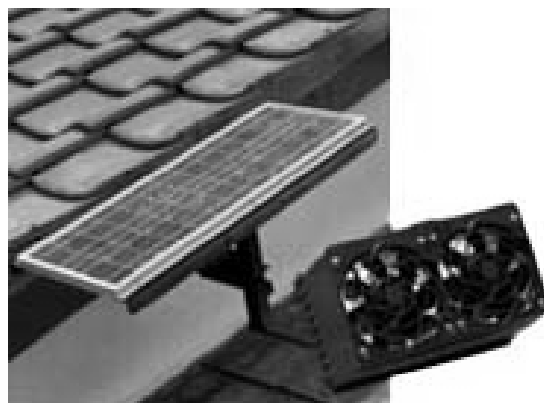


Рис.9. Приклад застосування портативного модуля ФЕП для автономного живлення окремих складових комп'ютерної техніки

Оптимальним є використання розподілених альтернативних фотогальванічних джерел на базі фотоелектричних концентраторних перетворювачів (CPV ФЕП) [13], які мають ККД~43-44% або її нового різновиду – висококонцентраторної фотовольтаїки (HCPV) [10] у поєднанні із технологією спектротрансформатора [14, 15]. Це дозволить перетворення більшої частини сонячного випромінювання в електроенергію, оскільки спектральні діапазони виходи спектротрансформатора є максимально

узгодженими із спектрами поглинання концентраторних ФЕП.

Модель ІМ із енергетично-автономними вузлами. Окремий сегмент ІМ на базі запропонованого підходу з автономним фотоелектричним джерелом живлення показано на рис 10.

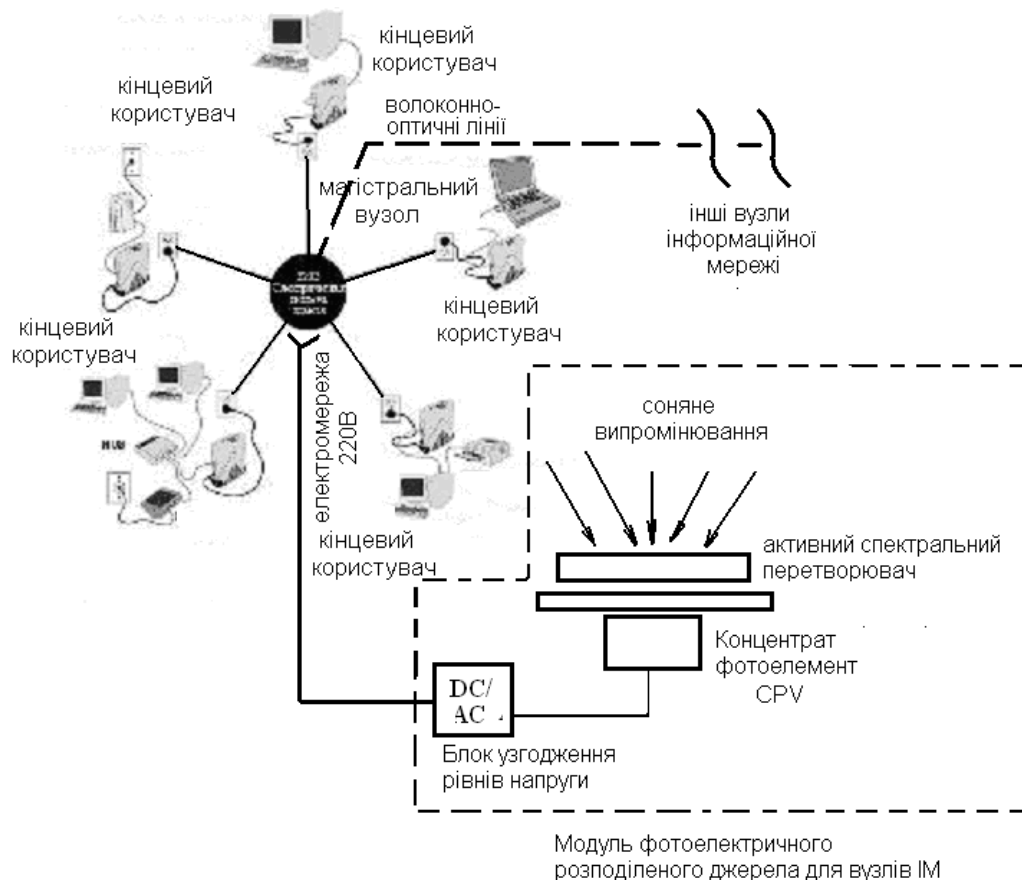


Рис.10. Сегмент ІМ із живленням на базі модуля розподіленого джерела енергії від сонячного випромінювання

Об'єднання технологій концентраторного фотоелектричного перетворення сонячної енергії та технології спектральної трансформації довжин хвиль [14] дозволить зменшити оптичні втрати при перетворенні окремих спектральних областей та підвищити ефективність перетворення енергії для задач підвищення автономності вузлів ІМ. Але необхідні поглиблені дослідження аспектів симбіозу цих технологій та вивчення особливостей спектрального перетворення сонячного випромінювання для конкретних ділянок сонячного спектру.

Кінцеві пристрої перетворення та постачання енергії від сонячного випромінювання на базі технології спектротрансформатора і концентраторної фотовольтаїки (рис. 10) дозволять вирішити ці задачі, та у поєднанні із технологією волоконно-оптичних каналів побудувати модель інформаційної мережі з розподіленими джерелами енергії на базі ФЕП (рис. 11, рис. 12). До кожного з компонентів мережі може бути організовано автономне електропостачання живлення на базі модулів автономного живлення на ФЕП (рис. 11). Основними компонентами ІМ, що необхідно під'єднувати до модулів розподілених джерел енергії є: центральні сервера, шлюзи та комутатори, які визначають функціональність мережі (рис.12). Крім того, з метою забезпечення вищої енергетичної автономності ланок ІМ, до розподілених енергетичних джерел можуть бути підключені і кінцеві пристрої мережі (наприклад, камери відеоспостереження та абонентські термінали).

Перевага такого підходу полягає у рознесенні електричних джерел і забезпеченні повного або часткового автономного постачання електроенергії у основних вузлах мережі в критичних місцях, що визначають її функціональність. Модель ІМ (рис. 12) може бути використана на різних рівнях ієрархії інформаційних мереж, в залежності від потреб автономності окремих їх складових.

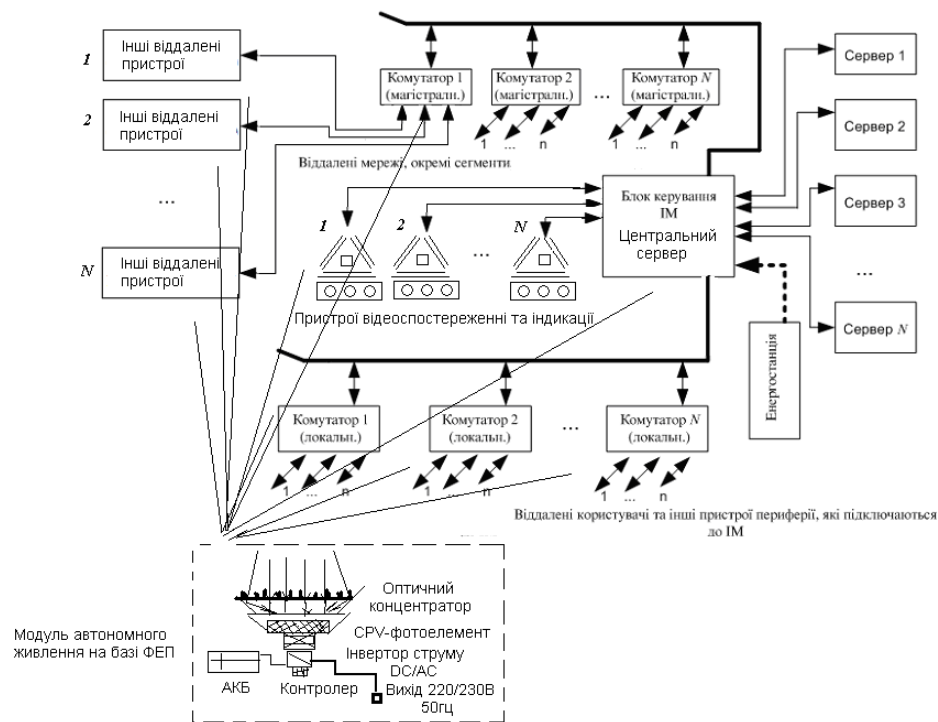


Рис.11. Можливі місця розміщення розподілених автономних джерел енергії на базі ФЕП у загальній структурі ІМ

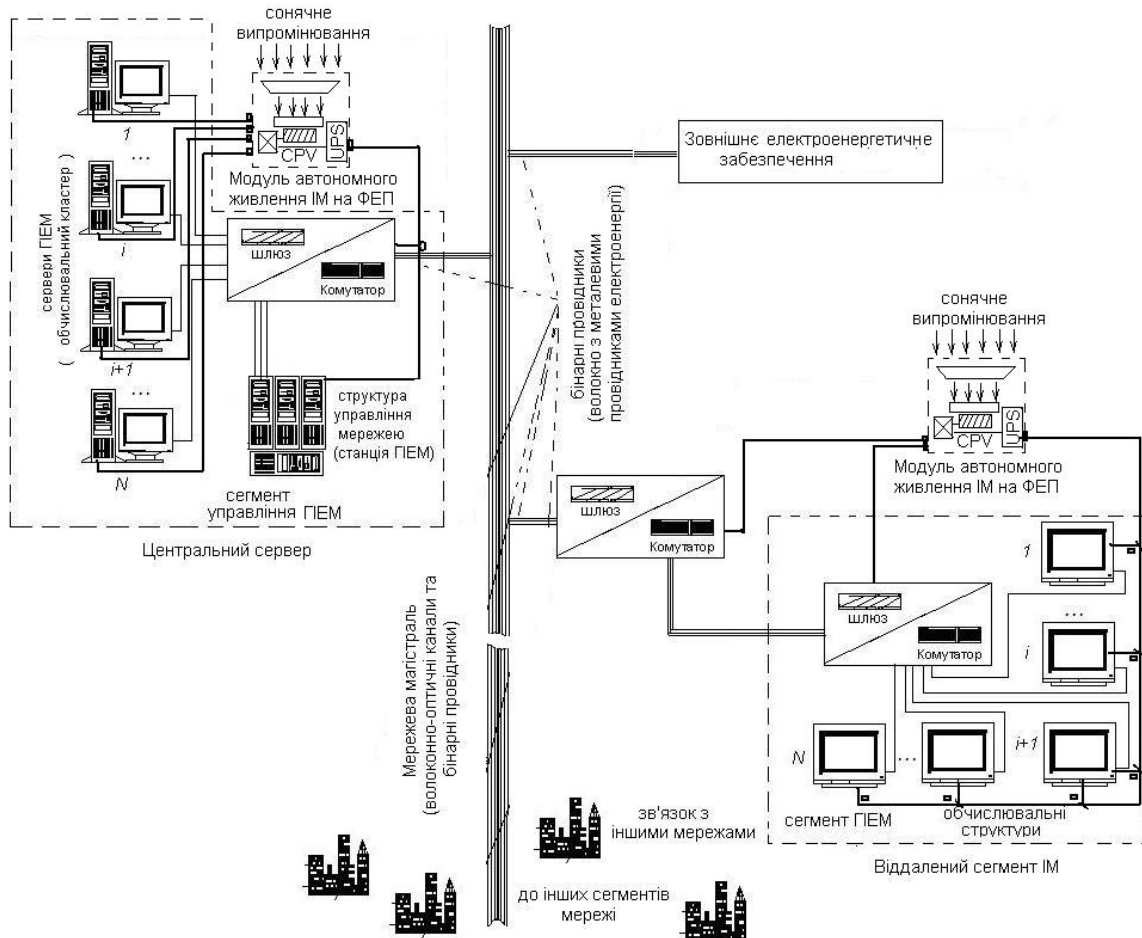


Рис.12. Структурна модель ІМ із автономними джерелами енергії на базі ФЕП

При цьому, розподілені джерела енергії на базі ФЕП можуть бути реалізовані у вигляді модульних конструкцій, що складаються із: оптичних концентраторів; модуля ФЕП; контролера заряду; акумуляторного блоку та інвертора. Ці компоненти модуля (рис. 10) повинні забезпечувати автономний режим роботи і перетворення енергії сонячного випромінювання в електроенергію мережі ~220-230В 50Гц в цілодобовому режимі. В нічний час доби та в умовах недостатньої сонячної інсоляції накопичена електроенергія в модулях АКБ, що входять до складу модуля джерела енергії на ФЕП, перетворюється інвертором у електроенергію необхідного рівня і роду струму для забезпечення автономної роботи.

По бінарним провідниками мережі, які складаються із інформаційної частини на базі ВОЛЗ, що оточена електропровідними провідниками, електрична енергія від вузлів ІМ із розподіленими джерелами енергії на базі ФЕП може передаватись до інших компонент та сегментів мережі, в залежності від типу апаратної організації та топології мережі.

Наведена на рис. 12 загальна модель ІМ із розподіленими джерелами енергії на базі ФЕП, може бути змінена в залежності від потреб та типу організованої топології мережі. Дана модель ілюструє принцип організації мережі на базі розподілених джерел з метою підвищення енергетичної автономності її компонент.

У зв'язку із підвищенням обсягів інформації в ІМ, перспективність такого підходу полягає як у зменшенні залежності від зовнішніх енергетичних джерел та привабливості екологічної складової альтернативних джерел енергії, так і у підвищенні економічної рентабельності проєктів, що використовують такі мережі. При цьому забезпечується часткова або повна незалежність від місцевих постачальників електричної енергії, яка має стрімку тенденцію до підвищення її вартості з часом.

Тому, одним із шляхів вирішення проблеми побудови ІМ із високою стабільність функціонування (особливо для державного і корпоративного секторів) є розробка і впровадження окремих високошвидкісних розподілених волоконно-оптичних мереж із повним або частковим автономним енергетичним живленням вузлів на базі технологій сонячних концентраторних ФЕП у поєднанні із спектротрансформатором. Оскільки, енергетичні ресурси сонячного випромінювання є загальнодоступними і достатньо значними (зокрема для України і її території вони є одними з найбільших в Європі), то використання такої мережі дозволить не тільки вирішити завдання підвищення стабільності функціонування мережі, але й реалізувати функції енергозбереження і економії ресурсів і державних коштів.

ВИСНОВКИ

В роботі проаналізовано сучасні технології фотоелектричних перетворювачів, систематизовані основні їх параметри та показники енергетичної ефективності. Визначено оптимальний – концентраторний тип ФЕП для застосування їх у інформаційних мережах для підвищення енергетичної автономності та відповідно стабільності функціонування. Проаналізовані основні чинники впливу на ефективність фотоелектричного перетворення, а також шляхи її підвищення для оптимального використання ФЕП в ІМ. Запропоновано підхід і модель інформаційної мережі із автономними розподіленими джерелами енергії на базі ФЕП. Це дозволить забезпечити повну або часткову енергетичну автономність основних компонентів ІМ у критичних місцях. Для підвищення ефективності перетворення сонячного випромінювання запропоновано використання сонячних концентраторних ФЕП у поєднанні із технологією спектральної трансформації довжин хвиль.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб: Издательство “Питер”, 1999. – 672с.
2. Антонов В.М. Сучасні комп'ютерні мережі / В. М. Антонов. – Київ, «МК-Прес», 2005. – 478с.
3. Скуратов А.К. Администрирование телекоммуникационной сети на основе статистического анализа трафика / А.К.Скуратов, Д.С.Безрукавный // Вестник Таганрогского Государственного Университета . – 2004. – Том 10. – С. 919-923.
4. Фаренбрух А. Солнечные элементы: теория и эксперимент : [Пер. с англ. И.П. Гавриловой и А.С. Даревского; под ред. М.М. Колтуна] / А. Фаренбрух, Р.Бьюб . –М.: Энергоатомиздат, 1987. –280с.
5. Бекиров Э.А. Компьютерное моделирование сложных энергосистем с концентраторами солнечной энергии / Э.А.Бекиров, А.П.Химич // Відновлювана енергетика . – №1(24). –2011. – с.74-81.
6. Солнечная энергетика: обзор отрасли : [Электронный ресурс] / по материалам компании Nitols Solar Limited. – Режим доступа World Wide Web: <http://nitolsolar.com/rusolarenergy/>
7. Photovoltaic energy, electricity from the sun : [Электронный ресурс] / Daniel Fraile, Marie Latour, Adel El Gammal, Michael Annett. // EPIA Publications. –vol.50.– april 2010. – Режим доступа World Wide Web: <http://www.epia.org/publications/photovoltaic-publications-global-market-outlook.html> .

8. Michael Forst. Germany's module industry poised for growth // SUN & Wind Energy. –Vol.5. –2011. – pp.256-263.
9. Высокоэффективные концентраторные (2500-солнц) AlGaAs/GaAs солнечные элементы / В.М. Андреев, В.П. Хвостиков, В.Р. Ларионов, В.Д. Румянцев, Е.В. Палеева, М.З.Шварц //Физика и техника полупроводников. – 1999 . – т.33. – вып.9. – С.1070-1073.
10. Kurtz S. Opportunities and Challenges for Development of a Mature Concentrating Photovoltaic Power Industry: [Електронний ресурс] // Матеріали Національно дослідницької лабораторії фотовольтаїки NREL. – Режим доступу: World Wide Web: <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/43208.pdf>
11. Chunfeng Hou, Zhongxiang Zhou, Xiudong Sun, Baohong Yuan. Incoherently coupled grey-grey screening-photovoltaic soliton pairs in biased photovoltaic-photorefractive crystals // Optik - International Journal for Light and Electron Optics. –Vol. 112. – Issue 1 . – 2001 . – PP. 17-20.
12. Конструкция многоплощадочного фотоприемника с термоэлектрическим охладителем / Г. А. Аракелов, В. Р. Магнушевский, В. Н. Сивенкова, И. М. Троицкий, Г. А.Казанцев // Прикладная физика. – 2002. – № 4. – С.69-75. – ISSN 1998-0943.
13. Zachary Shahan. Sharp Hits Concentrator Solar Cell Efficiency Record, 43.5% / : [Електронний ресурс] // Матеріали компанії Sharp на поратлі «Cleantechnica» . – Режим доступу: World Wide Web: <http://cleantechnica.com/2012/05/31/sharp-hits-concentrator-solar-cell-efficiency-record-43-5/>
14. В.П. Кожем'яко. Спосіб побудови та методика створення уніфікованої системи трансформації довжин хвиль / В.П. Кожем'яко, О.В. Шевченко, Я.І. Ярославський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – №2(12). –2007р. – С.78-86.
15. Локальні геоінформаційно-енергетичні мережі на новітніх волоконно-оптичних лініях із спектротрансформаторним живленням / В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський, Я. І. Ярославський, В. В. Мороз // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – №2(24). – 2012р. – С.137-146.

Надійшла до редакції 14.12.2013р.

КОЖЕМ'ЯКО В.П. – д.т.н., професор, академік АІНУ, завідувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

МАЛІНОВСЬКИЙ В.І. – к.т.н., науковий співробітник, ст. викладач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ЯРОСЛАВСЬКИЙ Я.І. – здобувач кафедри лазерної та оптоелектронної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

УДК 681.3.06

О.М. БЕВЗ, К.В. ДЕРЕВЕНЬКО

ОПТОЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С БЫСТРЫМ ДЕКОДИРОВАНИЕМ И ВЫСОКОЙ КРИПТОГРАФИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТЬЮ

*Вінницький національний технічний університет ,
21021, Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна,
E-mail: ezorf@mail.ru*

Анотація. В статті розроблена оптоелектронна система, в якій реалізовано метод виправлення двох помилок, що ґрунтується на узагальненні коду Хеммінга. Також запропоновано метод інформаційного захисту від несанкціонованого доступу, що базується на дворівневій підстановочно-перестановочній мережі.

Аннотация. В статье разработана оптоэлектронная система, в которой реализован метод исправления двух ошибок, основанный на обобщении кода Хемминга. Также предложен метод информационной защиты от несанкционированного доступа, основанный на двухуровневой подстановочно-перестановочной сети.

Abstract. The article contains the optoelectronic system that has a method of correcting two errors, based on a generalization of the Hamming code. A method of information protection is developed against unauthorized access, based on a two-level Substitution-Permutation Network-SPN also.

Ключові слова: оптоелектронна система, несанкціонований доступ, код, исправ-ляющий две ошибки.

ВСТУП

Современные оптоэлектронные системы обладают рядом преимуществ по сравнению с другими системами передачи информации. Вместе с тем, существует ряд проблем, которые снижают эффективность процесса передачи информации. Одними из таких главных и важных проблем являются проблема искажения данных во время передачи и проблема возможности несанкционированного доступа со стороны постороннего участника.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Искажение информации приводит к ошибкам в работе оптоэлектронной системы и возникает в результате помех, которые влияют на передаваемые в оптоэлектронных системах данные. Наиболее часто искажаются два информационных символа – возникают две ошибки. Несанкционированный доступ (НСД) участников возможен по причине открытости каналов связи, на основе которых работают оптоэлектронные системы. Современные методы исправления двух ошибок и методы защиты от несанкционированного доступа, которые используются в оптоэлектронных системах, характеризуются рядом недостатков. Самые критические из них – низкая скорость работы оптоэлектронной системы, которая приводит к снижению эффективности работы оптоэлектронной системы. Цель данной статьи – повышение эффективности работы оптоэлектронной системы, в которой реализовано исправление двух ошибок и информационная защита от несанкционированного доступа.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В соответствии с изложенной выше целью необходимо решить следующие задачи:

- разработать метод исправления двух ошибок с высокой скоростью работы в оптоэлектронной системе;
- разработать метод защиты информации с высокой эффективностью работы в оптоэлектронной системе.

ИЗВЕСТНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ

Наиболее распространенный метод исправления двух ошибок, которые возникают при передаче данных, в оптоэлектронных системах основывается на использовании семейства кодов Боуза-Чоудхури-Хонквингема [1].

Преимуществом данных кодов является возможность индикации наличия трех ошибок.

Декодирование кодовой последовательности, которая будет получена из оптоэлектронной системы, базируется на решении системы двух уравнений в конечном поле. Нахождение корней этой системы выполняется приведением системы к квадратному уравнению

$$x_1 + z_1 x + \frac{z_2}{z_1} + z_1^2 = 0 \quad (1)$$

Корни этого уравнения являются значением позиций, на которых возникли ошибки. Существуют ряд способов решения квадратного уравнения (1).

Способ 1. Данный способ основан на применении операций перебора каждого значения x из данного конечного поля. Кроме операций перебора этот метод требует выполнения операций сложения, умножения и деления в конечном поле. Выполнение перечисленных выше операций в аппаратных узлах оптоэлектронной системы нуждается в использовании нескольких регистров сдвига и нескольких тактов их работы. Данный способ требует значительного времени исполнения и не является эффективным с точки зрения быстродействия. Программная интерпретация данного метода требует программных моделей регистров сдвига, которые должны работать за определенное количество итераций, и также не соответствует требованию высокой производительности и эффективности. Кроме того, он требует наличия в составе оптоэлектронной системы специализированного микропроцессорного комплекта, что ведет к дополнительным экономическим затратам.

Способ 2. Данный способ состоит в приведении в уравнении (1) к виду

$$x^2 + x + \beta = 0 \quad (2)$$

Дальнейшие решения уравнения (2) требует использования функций следа. Все математические операции этого способа выполняются в нормальном базисе, что также приводит к ряду недостатков.

В этом способе требуются меньшее количество операций умножения и деления, чем в предыдущем, но он требует большего количества итераций. В чистом виде этот метод не является быстродействующим. Одним из возможных способов повышения быстродействия является использования логарифмов и антилогарифмов Зеча. В целом эффективность этого способа также не будет достаточно высокой по причине необходимости дополнительной памяти, в которой будут храниться таблицы этих логарифмов и антилогарифмов.

Основным методом защиты информации в современных системах связи и оптоэлектронных системах является применение стандарта шифрования AES, в основу которого положен шифр Rijndael [2]. Работа данного стандарта шифрования основывается на реализации операций в конечном поле. Преимуществом данного шифра является высокая стойкость к линейному и дифференциальному криптоанализу. Данное свойство является результатом «сбалансированности» операций в конечных полях. Выполнение математических операций в конечном поле требует значительного использования вычислительных ресурсов оптоэлектронных систем и характеризуется низкой скоростью работы, что снижает так же в целом эффективность.

Рассмотренные выше методы исправления двух ошибок и информационной защиты не могут по изложенным выше недостаткам (низкой эффективностью) быть использованы в оптоэлектронных системах.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Решение задачи выполним двумя шагами. На первом шаге разработаем код, исправляющий две ошибки, с высокой скоростью работы в оптоэлектронной системе. На втором шаге сформируем метод шифрования с высокой эффективностью работы в оптоэлектронной системе.

Шаг 1. Первый шаг будет состоять из двух этапов. На первом этапе сформируем код, исправляющий две ошибки, на втором – разработаем схему декодирования, с характеристиками, которые выше изложенных ранее методов.

Этап 1. Код исправляющий две ошибки реализуем на основе обобщения кода Хэмминга исправляющего две ошибки. Двоичный код Хэмминга – код длина которого, определяется выражением [1]

$$n = 2^m - 1, \quad (3)$$

где m – количество проверочных символов; n – длина кодового слова.

Двоичный код Хэмминга исправляет одну ошибку. Для исправления двух ошибок, очевидно, необходимо $2m$ проверочных символов. Проверочная матрица H' кода исправляющего две ошибки требует добавления m строк к проверочной матрице H кода Хэмминга. Проверочная матрица H кода Хэмминга с числом проверочных символов $m = 4$ и кодовых символов $n = 15$ содержит столбцы всех не нулевых векторов размером 4

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Сокращенно матрицу (4) обозначим

$$H = [1, 2, 3 \dots i \dots 14, 15], \quad (5)$$

где i – соответствующий 4-битный вектор.

Для исправления ещё одной ошибки необходимо добавить к матрице H дополнительные 4 строки. В результате матрица H' примет следующий вид

$$H' = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & & 15 \\ f(1) & f(2) & f(3) & \dots & f(15) \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Значением функции $f(i)$ также является 4-битный вектор. Поэтому i -й столбец матрицы H'

$$H_i = \begin{pmatrix} i \\ f(i) \end{pmatrix} \quad (7)$$

В соответствии с [2] синдром кода будет вычисляться выражением

$$S = H_i + H_j = \begin{pmatrix} i & + & j \\ f(i) & + & f(j) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Этап 2. Пусть y – кодовое слово, тогда декодирование происходит на основе вычисления синдрома

$$S = Hy^T = \begin{pmatrix} z_1 \\ z_2 \end{pmatrix} \quad (9)$$

Если ошибки произошли на позициях i, j кодового слова, то должна выполняться система

$$\left. \begin{aligned} i &+ j = z_1 \\ f(i) &+ f(j) = z_2 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где $i, j, f(i), z_1, z_2$ 4-битные вектора.

Наиболее целесообразно представить функции $f(i)$ и $f(j)$ в виде: $f(i) = i^3, f(j) = j^3$.

Тогда система (10) примет следующий вид

$$\left. \begin{aligned} i &+ j = z_1 \\ i^3 &+ j^3 = z_2 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Анализ системы 11 показывает, что возможны 4 варианта решения системы (11):

Вариант 1. Если $z_1 = z_2 = 0$ – ошибок не произошло.

Вариант 2. Если $z_1 \neq 0$ и $z_2 = z_1^3$ – произошла ошибка на позиции $i = z_1$.

Вариант 3. Если $z_1 \neq 0$ и $z_2 \neq z_1^3$ – ошибки произошли на позициях i, j .

Вариант 4. Если $z_1 = 0$ и $z_2 \neq 0$ – произошло три ошибки.

Решение системы (11) предлагается выполнить путем перебора всех возможных значений, которые могут принимать переменные i и j . Переменные i и j являются элементами поля Галуа $x \in GF(2^4)$. Нахождение значений корней системы (11) будет проводиться в начале для уравнения 1, а после этого, в случае выполнения равенства, необходимо проверить второе уравнение. Для реализации предложенного решения необходимо составить таблицы, в которых содержатся возможные значения 4-

битных векторов i и j и соответствующие им значения i^3 и j^3 . В таблице 1 отображены значения десятичных представлений элементов поля $GF(2^4)$, двоичные представления этих элементов, степенное представление и полиномиальное представление, а также соответствующие результаты возведений элементов в куб.

Таблица 1.

Элементы поля Галуа и соответствующие им результаты возведения в куб

Десятичное представление элемента поля x	Двоичное представление элементов поля x	Степенное представление элементов поля x	Полиномиальное представление элемента поля x	Элемент поля x^3
1	2	3	4	5
0	0000	0	0	0
1	0001	1	1	1
2	0010	x	X	x^3
3	0011	x^4	$1+x$	x^{12}
4	0100	x^2	x^2	x^6
5	0101	x^8	$1+x^2$	x^9
6	0110	x^5	x^2+x	1
7	0111	x^{10}	x^2+x+1	1
8	1000	x^3	x^3	x^9
9	1001	x^{14}	x^3+1	x^{12}
10	1010	x^9	x^3+x	x^{12}
11	1011	x^7	x^3+x+1	x^6
12	1100	x^6	x^3+x^2	x^3
13	1101	x^{13}	x^3+x^2+1	x^9
14	1110	x^{11}	x^3+x^2+x	x^3
15	1111	x^{12}	x^3+x^2+x+1	x^6

Нахождение корней системы (11) с использованием табличных подстановок на основе таблицы 1 требует выполнения только операций сложения и загрузки значений элементов поля из памяти.

Проведенные компьютерные эксперименты показали, что предложенный способ решения системы (11) дает возможность снизить время декодирования на 20% по сравнению с изложенными выше методами исправления двух ошибок в оптоэлектронных системах. По этой причине первый шаг поставленной задачи выполнен.

Шаг 2. В соответствии с изложенной выше целью работы необходимо обеспечить высокую скорость работы и стойкость метода защиты информации (криптографического преобразования) в оптоэлектронных системах. Наиболее мощными видами криптоанализа являются линейный и дифференциальный. Криптографическая стойкость преобразования к линейному и дифференциальному криптоанализу является функцией количества активных S-боксов [3]. Одним из путей увеличения количества активных S-боксов является использование двух уровней подстановочно-перестановочной сети (Substitution-Permutation Network-SPN). Для формирования максимального количества активных S-боксов на двух уровнях SPN-сети (верхнего и нижнего) необходимо применить коды с максимальной длиной - KMD_n и KMD_e . Для SPN такого типа количество активных S-боксов равно [4]

$$N = (m_2 + 1)(m_1 + 1), \quad (12)$$

где m_2 – длина слова KMD_n ; m_1 – длина слова KMD_e .

В качестве кода с максимальным расстоянием целесообразно использовать код

$KMD(2m, m, m+1)$. Код $KMD(2m, m, m+1)$ – код с образующей матрицей $G=[I][C]$, где C – образующая матрица размером $m \times m$, I – единичная матрица, m – длина слова кода. Для формирования преобразования в шифрах на основе SPN-сетей с использованием кода с максимальным расстоянием необходимо применять только матрицу – C .

Преобразование одного уровня гнездовой SPN согласно КМД определяет отображение результатов S-боксов X в вектор Y через произведение матриц над полем Галуа $GF(2^n)$. Параметр n определяет длину S-блока

$$\begin{bmatrix} y_0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_{m-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{0,0} \dots c_{0,m-1} \\ \\ c_{ij} \\ \\ c_{m-1,0} \dots c_{m-1,m-1} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_{m-1} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где x_j – результирующее значение определенного S-блока, $x_i \in GF(2^n)$; y_j – результирующее значение определенного уровня гнездовой SPN. $y_i \in GF(2^n)$; c_{ij} – коэффициенты образующей матрицы КМД – преобразования $c_{ij} \in GF(2^n)$; m – длина слова КМД.

Следующим параметром, который определяет стойкость шифра к линейному и дифференциальному криптоанализу, кроме количества активных S-боксов раунда, являются значения вероятности линейной p и дифференциальных q характеристик S-боксов, что применяются в раунде [5].

Вероятность дифференциальной характеристики раунда определяется выражением

$$P = p_s^n, \quad (14)$$

где p_s – вероятность дифференциальной характеристики S-блока, что применяется в раунде; n – количество активных S-боксов в раунде.

Вероятность линейной характеристики раунда определяется выражением

$$Q = q_s^n, \quad (15)$$

где q_s – вероятность линейной характеристики S-блока, что применялся в раунде; n – количество активных S-боксов в раунде.

Нижняя граница вероятности линейной q_s и дифференциальной p_s характеристик одного S-блока зависит от его размера. Как указано в работе [5], нижняя граница дифференциальной и линейной характеристики S-блока размером $n \times n$ определяется выражением

$$q_s = p_s = \frac{n}{2^{n-1}}, \quad (16)$$

где n – размер S-блока.

Размер S-блока также влияет на тип кода с максимальным расстоянием. Наиболее целесообразно в оптоэлектронной системе использовать S-блоки размером 16×16 бит. Такие S-блоки для длины блока шифрования 128 бит могут формировать 4 типа двухуровневых SPN-сетей.

Эффективность защиты информации, которая будет реализована в оптоэлектронной системе определяется отношением двух составляющих. Первое составляющее – вероятность линейной (дифференциальной) характеристики одного раунда двухуровневой SPN-сети. Второе составляющее – количество операций, за которые данный раунд будет выполнен оптоэлектронной системой [6].

В таблице 2 представлены типы кодов с максимальным расстоянием, которые могут формировать SPN-сеть с размерами S-блоков 16×16 , длиной 128 бит и соответствующие значения эффективности защиты информации в оптоэлектронной системе.

Таблиця 2.

Варианты гнездовых SPN-сетей с S-блоками размеров 16 x 16 и соответствующие показатели эффективности реализации

Номер варианта	Тип КМД нижнего уровня	Тип КМД верхнего уровня	Коэффициент эффективности
1	2	3	4
1	(2, 1, 2)	(16, 8, 9)	11,7
2	(4, 2, 3)	(8, 4, 5)	18,3
3	(8, 4, 5)	(4, 2, 3)	20,6
4	(16, 8, 9)	(2, 1, 2)	11

Анализ таблицы 2 демонстрирует, что наиболее эффективным вариантом для защиты информации в оптоэлектронной сети является SPN-сеть, которая состоит из кода максимальной длины нижнего уровня типа (8, 4, 5) и кода максимальной длины верхнего уровня типа (4, 2, 3). Значение эффективности одного раунда стандарта AES составляет – 15, 6 [6], что на 30% ниже чем предложенный метод шифрования.

ВЫВОДЫ

В результате выполненного исследования разработана оптоэлектронная система, в которой используется метод исправления двух ошибок при передаче данных и метод защиты информации от несанкционированного доступа. Метод исправления двух ошибок основанный на обобщении кода Хемминга, реализация которого в оптоэлектронной системе повысит скорость работы на 20%, по сравнению с существующими методами. Метод защиты информации основанный на двухуровневой подстановочно-перестановочной сети. Реализация данного метода в оптоэлектронной системе передачи данных повысит эффективность работы по сравнению с существующими методами на 30%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ф. Дж. Мак - Вильямс. Теория кодов исправляющих ошибки / Ф. Дж. Мак – Вильямс, Н. Дж. А. Слоэн // Связь. – 1979. – 743 с.
2. Daemen J. The Design of Rijndael. AES: The Advanced Encryption Standard / Joahn Daemen, Vincent Rijmen // Springer – Berlin. – 2002. – V.234. – P. 24 – 28.
3. O'Connor L. On the distribution of characteristics in bijective mappings / O'Connor L. // Advances in Cryptology – EUROCRYPT '93. – Springer-Verlag. – 1994. – Vol.678. – P. 360 – 370.
4. The block cipher Hierocrypt / [Ohkuma K., Muratani H., Sano F., Kawamura S]. // Proceedings of Selected Areas in Cryptography – SAC 2000, Lecture Notes in Computer Science. – Springer-Verlag. – 2001. – Vol. 2012. – P. 72 – 88.
5. Kanda M. Practical security evaluation against differential and linear cryptanalysis for Feistel ciphers with SPN round function. / Kanda M. // Seventh Annual International Workshop on Selected Areas in Cryptography-SAC'00, Lecture Notes in Computer Science – Springer-Verlag. – 2001. -Vol. 2012. – P.324 – 338.
6. Бевз О. М. Методи шифрування на основі високонелінійних булевих функцій та кодів з максимальною відстанню: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05 / Бевз Олександр Миколайович – Вінниця: 2008. – 181 с.

Надійшла до редакції 11.12.2013р.

БЕВЗ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ – к.т.н, доцент кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ДЕРЕВЕНЬКО КАТЕРИНА ВАСИЛІВНА – студентка гр. 1СІ-11 кафедри автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

УДК 681.142.2 : 621.31

В.С. КОНОВАЛ, В.І МОРОЗ

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДУ ВІДОБРАЖЕННЯ НУЛІВ/ПОЛЮСІВ

Національний університет "Львівська політехніка",
79013, вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна

Анотація. Для моделювання складних електроенергетичних систем запропоновано використання відображення в дискретну область нулів/поліосів еквівалентної передатної функції, яка відповідає системі диференціальних рівнянь, що описує динаміку системи. Даний метод забезпечує високу швидкість, числову стійкість і просте розпаралелювання обчислень. Здійснено порівняння даного методу з числовими методами Адамса і Рунге-Кутта.

Ключові слова: дискретизація, електроенергетичні системи, комп'ютерне моделювання, перехідні процеси, числові методи.

Аннотация. Для моделирования сложных электроэнергетических систем предложено использование отображения в дискретную область нулей/полюсов эквивалентной передаточной функции, которая отвечает системе дифференциальных уравнений, описывающих динамику системы. Данный метод обеспечивает высокое быстродействие, численную устойчивость и простое распараллеливание вычислений. Произведено сравнение данного метода с численными методами Адамса и Рунге-Кутта.

Ключевые слова: дискретизация, электроэнергетические системы, компьютерное моделирование, переходные процессы, численные методы.

Abstract. The method for computer simulation of the complex power systems using zero/poles approach for sampling was described. This method provides the high speed calculation, numerical stability and simple decomposition for parallel computations. Comparing was made to Adams and Runge-Kutta formulas.

Keywords: sampling, power systems, computer simulation, transients, numerical methods

ВСТУП І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Моделювання перехідних процесів у складних електроенергетичних системах, які описують тисячами диференціальних рівнянь, є достатньо проблемною задачею навіть для сучасного рівня обчислювальної техніки і методів розв'язування звичайних диференціальних рівнянь [1]. Проблема полягає в тому, що у випадку застосування числових методів на поведінку досліджуваної системи накладається ще й поведінка використаного числового методу. Як показано в роботах [2–4], внаслідок дискретизації числовими інтеграторами неперервної моделі динамічної системи в отриманій цифровій моделі з'являються додаткові нулі та полюси результуючої дискретної передатної функції та відповідні зміни в амплітудних і фазних частотних характеристиках порівняно з аналоговим прототипом (вихідна система звичайних диференціальних рівнянь). У результаті складність цифрової моделі електроенергетичної системи зростає у кілька разів порівняно з математичною моделлю, що подана диференціальними рівняннями. Певною мірою це узгоджується з гіпотезою фон Неймана, за якою найпростішим описом об'єкта, що досяг деякого порогу складності, є власне сам об'єкт, а будь-яка спроба його строгого формального опису (у даному випадку – цифрової моделі) призводить до чогось складнішого і заплутанішого.

Іншою проблемою, що вимагає вирішення, є реалізація обчислень перехідних процесів в електроенергетичних системах у реальному часі або й у десятки, сотні разів швидше для оперативного керування системами [1].

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Використання сучасних методів розв'язування звичайних диференціальних рівнянь є основним способом розв'язування задач динаміки складних електроенергетичних систем [1, 5]. Це пояснюється доволі просто – ця технологія добре відпрацьована, через що дослідник має змогу звичними методами

описати досліджуваний об'єкт системою диференціальних рівнянь, а потім її розв'язати з використанням стандартних процедур. При цьому нема потреби шукати і реалізовувати необхідний числовий метод, формувати моделювальні рекурентні формули – це все вже давно зроблено іншими [1, 5].

Перевагою такого способу комп'ютерного моделювання є відчутна економія часу під час процесу створення власне комп'ютерної моделі внаслідок виключення багатьох рутинних операцій.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Досягти адекватності цифрових моделей електроенергетичних систем відповідно до їх опису системами звичайних диференціальних рівнянь та їх вищої швидкодії можна шляхом прямого відображення нулів/полісів передатних функцій неперервних систем у відповідні нулі/поліси дискретних систем використанням відомих залежностей [2, 4] з наступним формуванням моделювальних рекурентних рівнянь. Для реалізації такого способу пропонується декомпозиція системи на дійсні та комплексно-спряжені нулі та полюси еквівалентних передатних функцій, які відповідають елементам досліджуваної електроенергетичної системи (рис. 1).

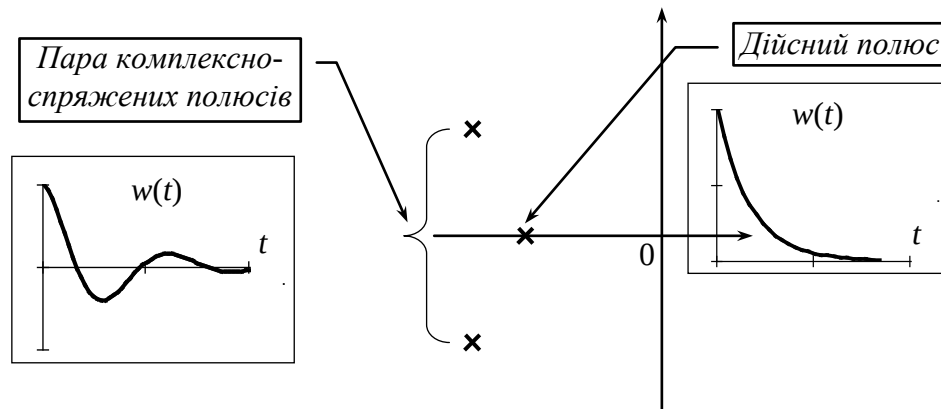


Рис. 1. Випадки розміщення полюсів елементарних динамічних ланок і відповідні їм імпульсні перехідні функції

Для прикладу, розглянемо три дискретні моделі ланки з дійсним полюсом $-\frac{1}{T}$, що відповідає сталій часу T :

1. Відображення нулів/полісів здійснюється за відомою методикою [2, 4], за якою одному дійсному полюсу відповідатиме дискретна передатна функція $\frac{1 - e^{-\frac{h}{T}}}{z - e^{-\frac{h}{T}}}$ і, відповідно, рекурентне

моделювальне рівняння [2] $y_{i+1} = y_i e^{-\frac{h}{T}} + (1 - e^{-\frac{h}{T}}) x_i$, де y_i , x_i – відліки вихідної та вхідної координат.

2. Для ілюстрації використання числового методу застосовано неявний метод Адамса третього порядку $y_{i+1} = y_i + \frac{h}{12} (5y'_{i+1} + 8y'_i - y'_{i-1})$, що формує рекурентне рівняння

$y_{i+1} = \frac{(12T - 8h)y_i + h \cdot y_{i-1} + h \cdot (5x_{i+1} + 8x_i - x_{i-1})}{12T + 5h}$ цифрової моделі та, відповідно, дискретну

передатну функцію $\frac{5z^2 + 8z - 1}{(5 + 12h/T)z^2 + (8 - 12h/T)z - 1}$. Зрозуміло, що замість одного дійсного полюса

(неперервна система) у цій дискретній моделі з'явилося два нулі та два полюси.

3. У випадку побудови комп'ютерної моделі ланки першого порядку за допомогою формули Рунге-Кутта четвертого порядку, яка широко використовується для аналізу перехідних процесів електроенергетичних систем, отримано дискретну передатну функцію з чотирма комплексно-спряже-

ними нулями і одним полюсом:

$$\frac{\frac{h}{6T} \left(z + 4 \left(1 - \frac{h}{2T} \left(1 - \frac{h}{4T} \right) \right) z^{-\frac{1}{2}} + \left(1 - \frac{h}{T} \left(1 - \frac{h}{2T} \left(1 - \frac{h}{2T} \right) \right) \right) \right)}{z - \left(1 - \frac{h}{T} \left(1 - \frac{h}{2T} \left(1 - \frac{h}{3T} \left(1 - \frac{h}{4T} \right) \right) \right) \right)}$$

Додаткову інформацію про поведінку цифрової моделі можна отримати для випадку ненульових початкових умов ($y(0) = 1$) та нульового сигналу збурення ($x(t) = 0$). У цьому випадку розв'язком буде згасаюча експонента $e^{-\frac{h}{T}}$, а кожен зі згаданих методів апроксимуватиме його відповідним чином:

1. Відображення нулів/полюсів: $y_{i+1} = y_i e^{-\frac{h}{T}}$.
2. Неявний метод Адамса третього порядку: $y_{i+1} = \frac{(12T - 8h)y_i + h \cdot y_{i-1}}{12T + 5h}$.
3. Метод Рунге-Кутта: $y_{i+1} = \left(1 - \frac{h}{T} \left(1 - \frac{h}{2T} \left(1 - \frac{h}{3T} \left(1 - \frac{h}{4T} \right) \right) \right) \right) y_i$.

Відповідність згасаючій експоненті для кожного зі згаданих методів для різних співвідношень кроку моделювання до сталої часу h/T показано на графіку рис. 2. Аналіз наведеного графіка свідчить як про обмежену точність, так і про невелику область стійкості традиційних методів розв'язування звичайних диференціальних рівнянь.

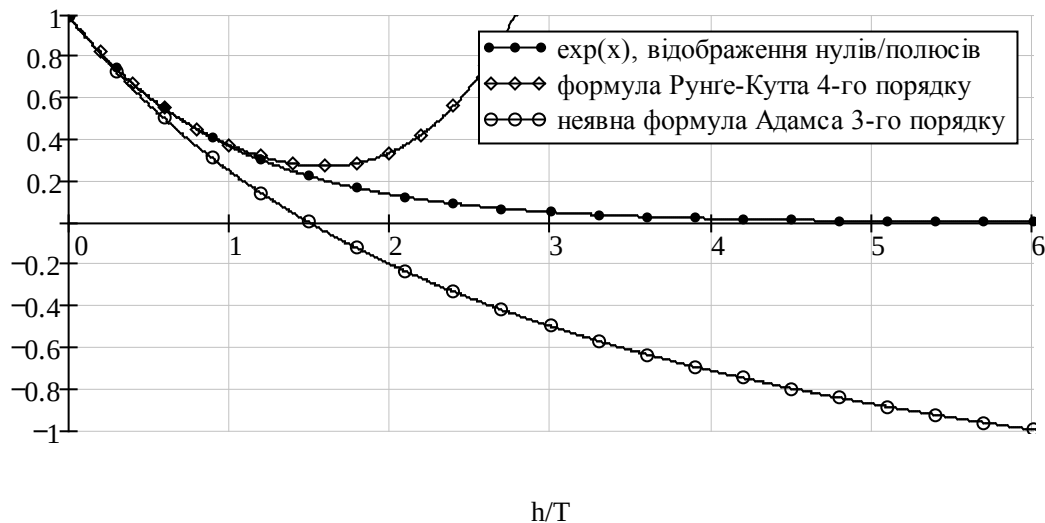


Рис. 2. Апроксимація експоненти різними числовими методами

ВИСНОВКИ

Використання методу відображення нулів/полюсів у моделюванні перехідних процесів складних електроенергетичних систем дає змогу отримати високоточну комп'ютерну модель досліджуваної системи з широкою областю числової стійкості, максимальною швидкістю та простою реалізацією паралельних обчислень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. High Performance Computing in Power and Energy Systems / Siddhartha Kumar Khaitan and Anshul Gupta (Eds.) // Power Systems Series. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. – 384 p. [ISBN 978-3-642-32682-0]

2. Смит Дж. М. Математическое и цифровое моделирование для инженеров и исследователей [Монографія] / Дж. М. Смит ; [пер. с англ. Н. П. Ильиной ; под. ред. О. А. Чембровского] – М.: Машиностроение, 1980. – 271 с.
3. Мороз В. Погляд інженера-електрика на числові методи розв'язування звичайних диференціальних рівнянь / В. Мороз // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Електроенергетичні та електромеханічні системи". – №485. – 2003. – С. 208–213.
4. Коновал В. Застосування z-перетворення для моделювання електроенергетичних систем / В. Коновал, В. Мороз // Сборник трудов Международной конференции "Моделирование-2012" (Simulation-2012), 16-18 травня 2012 р. – Київ. – С. 293–296.
5. SimPowerSystems : MATLAB®, the language of technical computing [MathWorks Documentation Center] [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <http://www.mathworks.com/help/physmod/sps/index.html>.

Надійшла до редакції 04.12.2013р.

КОНОВАЛ ВОЛОДИМИР СЕМЕНОВИЧ – к.т.н., доцент, докторант кафедри електричних систем та мереж, Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна.

МОРОЗ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ – д.т.н., професор, професор кафедри електроприводу і комп'ютеризованих електромеханічних систем, Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна.

УДК 621.311

Ю.А. ШУЛЛЕ, М.В. ДЕВЯТКО^{*}

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК ІНСТРУМЕНТ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID ТА ШЛЯХ ДО ЕФЕКТИВНОГО ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

*Вінницький національний технічний університет,
21021, Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, Україна*

Анотація. Розглянуто можливість реалізації концепції Smart Grid на основі геоінформаційних систем, які здатні до інтелектуального аналізу даних та можуть налагодити ефективний двосторонній зв'язок між споживачами і енергосистемою.

Ключові слова: географічні інформаційні системи, ГИС, Smart Grid, енергозбереження, електроенергетика.

Аннотация. Рассмотрена возможность реализации концепции Smart Grid на основе геоинформационных систем, которые способны к интеллектуальному анализу данных и могут наладить эффективную двустороннюю связь между потребителями и энергосистемой.

Ключевые слова: географические информационные системы, ГИС, Smart Grid, энергосбережение, электроэнергетика.

Abstract. It was considered opportunity of Smart Grid based with geoinformation system concept realization, which are able to analyze data and could to establish effective double-sided communications between consumers and energy system.

Key words: geographic information systems, GIS, Smart Grid, energy saving, electric power industry.

ВСТУП

На сьогодні географічні інформаційні системи (ГИС), які зародились декілька десятків років тому, не просто оцифровані карти. Сьогодні ГИС – це засіб управління, комунікації, аналізу, інтеграції даних та підтримки рішень [1]. Геоінформаційні системи в електроенергетиці давно набули поширення і отримали статус інфраструктурної технології. Це пов'язано з тим, що майже вся інформація, яка використовується на електроенергетичних підприємствах, має просторову прив'язку у зв'язку з географічно розподіленою природою електричних мереж та інфраструктури [2, 3]. В загальному ГИС електроенергетики – інформаційний ресурс, що об'єднує різноманітні картографічні матеріали, космічні знімки, векторні шари, бази даних, має широкі функціональні можливості (збір, зберігання, об'єднання, обробка, складні обчислення, візуалізація та аналіз географічно кодованої інформації) і доступна по локальній мережі або через мережу Інтернет.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

ГИС, як службова підсистема, має спеціальні картографічні матеріали (лінії електропередач, кабельні лінії, підстанції і їх бази даних, кадастрові ділянки, інші об'єкти електроенергетики (рис.1)), що дозволяє приймати ефективні управлінські рішення і здійснювати контроль їх виконання засобами GPS та відео моніторингу (рис.2).

Геоінформаційна система в електроенергетиці може використовуватись як інструмент реалізації концепції Smart Grid. Термін «Smart Grid» і сама технологія народилася та набула найбільшого поширення в США. Однак сьогодні цей термін став загальноприйнятим і його використовують у всьому світі. Smart Grid (інтелектуальні мережі) – це назва глобальної технології розвитку електроенергетичної системи всіх рівнів, або концепція організації «розумної» енергетичної системи. Smart Grid передбачає об'єднання енергетичної мережі, споживачів і постачальників електроенергії в єдину автоматизовану систему, яка в реальному часі дозволяє відстежувати і контролювати режими роботи кожного з компонентів мережі: від лічильника електроенергії в будинку до електростанцій. Причому в даній системі повинен бути налагоджений ефективний двосторонній зв'язок між споживачами і енергосистемою. У зв'язку з цим з'являється можливість поєднання геоінформаційної системи з концепцією Smart Grid та отримання енергозберігаючого ефекту.

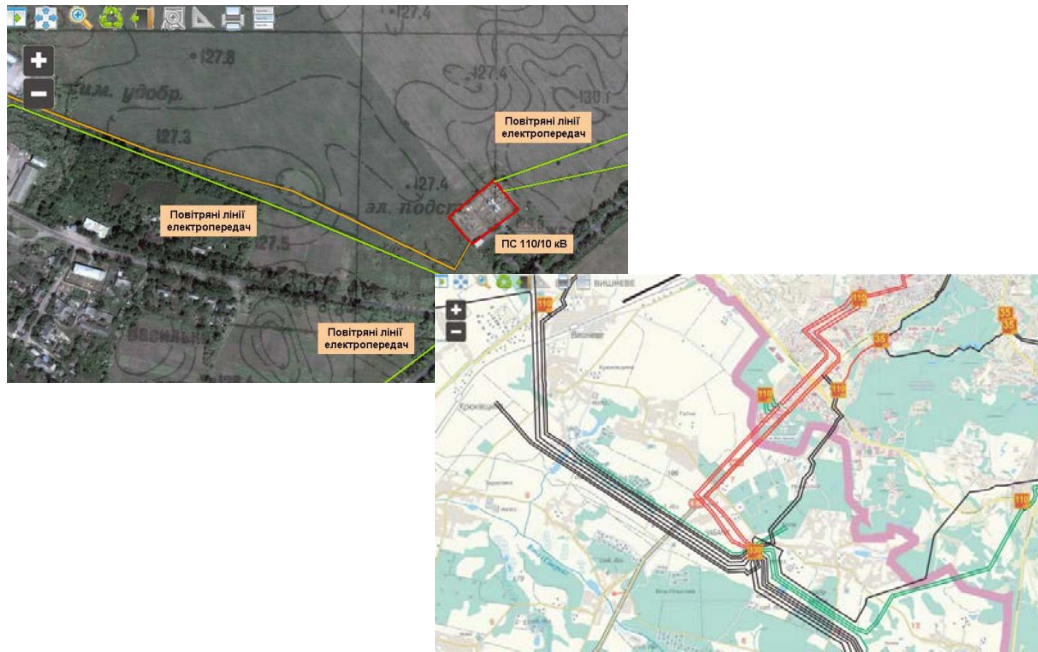


Рис.1. Спеціальні картографічні матеріали: лінії електропередач та основні підстанції

Переваги від використання Smart Grid такі:

- високий рівень безпеки та більш ефективна передача електроенергії;
- швидке відновлення після відключення електрики;
- зниження пікового попиту, що сприятиме зниженню тарифів на електроенергію;
- найкраща інтеграція споживачів і підприємств у систему виробництва електроенергії, в тому числі, відновлюваних джерел енергії;
- можливість обробки різноманітних джерел електроенергії (енергії вітру, сонця);
- підвищення надійності систем перетворення, передачі і розподілу електричної енергії;
- вирішення проблеми з модернізації або заміни старої енергетичної інфраструктури.

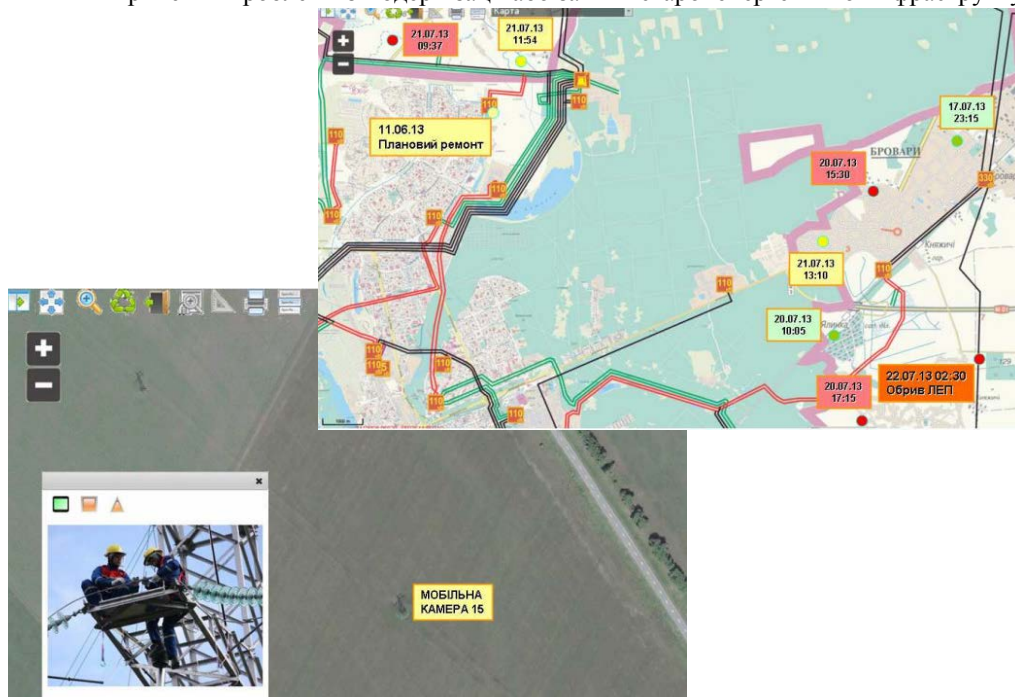


Рис. 1. Реєстрація, відображення службових подій (надзвичайних ситуацій, планових ремонтів, відключень) та відеомоніторинг виконання ремонтних робіт

Переваги використання геоінформаційної системи як концепції Smart Grid наступні:

- переведення всієї паперової картографічної, схематичної і креслярської документації на електронні носії інформації;
- автоматизація технічного обліку, створення різних типів звітів, скорочення обсягів ручної праці, створення єдиного сховища даних;
- збір даних, їх обробка, обчислення та аналіз, формування звітів, а також забезпеченість інформацією для прийняття обґрунтованих рішень;
- автоматизація планування процесів розвитку, будівництва, ремонту, профілактики, а також прискорення процесів надання послуг;
- енергозбереження за рахунок зменшення кількості аварійних ситуацій, зменшення тривалості ремонтних робіт, підвищення якості обслуговування мереж, підвищення ефективності керування мережами, оптимізація використання виробничих ресурсів (рис.2).

Розробка ГІС управління енергопостачальною компанією забезпечує:

- організацію єдиного інформаційного простору (формування і зберігання повної і достовірної інформації про об'єкти компанії у прив'язці до електронної карти);
- швидкий доступ усіх відділів і служб до наявної інформації в межах наданих їм прав;
- оперативний пошук, перегляд і коригування інформації по об'єктах енергетичної системи в прив'язці до електронної карти місцевості;
- забезпечення керівників підприємства інструментом для ефективного управління;
- формування і видача довідок, звітів, графічної інформації в необхідній формі;
- ведення електронних паспортів об'єктів енергопостачальної компанії;
- автоматизація інвентаризації комунікацій і обладнання;
- зниження трудовитрат на розробку проектів нових ділянок мережі, при значному скороченні термінів проектування;
- скорочення часу на пошук і локалізацію аварійної ділянки мережі, зменшення перерв в електрозабезпеченні користувачів;
- продовження терміну служби технологічного обладнання за рахунок оптимізації планування ремонтних і регламентних робіт.

ВИСНОВОК

Отже сьогодні збільшується значимість використання концепції Smart Grid на основі геоінформаційних систем, оскільки застосування ГІС в даній концепції можливе через їх здатність до інтелектуального аналізу даних і енергозберігаючого ефекту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Барладин А. В., Городецкий Е. М., Даценко Л. Н. Прикладные ГИС для науки и практики / А. В. Барладин, Е. М. Городецкий, Л. Н. Даценко // Геоінформаційні системи і муніципальне управління: збірник наукових праць до міжнародної науково-практичної конференції. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили. – 2000. – С.130-136.
2. Лисогор В. М., Лисогор Ю. А. Моделирование электропостачання гірничих підприємств з використанням геоінформаційних технологій / В. М. Лисогор, Ю. А. Лисогор // Картографія та вища школа: збірник наукових праць. – К.: Інститут передових технологій. – 2006. – Вип.11. – С. 89-92.
3. Лисогор В. М., Лисогор Ю. А. Моделі систем електропостачання гірничих підприємств на основі сучасних географічних інформаційних технологій / В. М. Лисогор, Ю. А. Лисогор // Матеріали II Міжнародної науково-технічної конференції Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПМРТП-2006). – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2006. – С. 23-24.

Надійшла до редакції 04.12.2013р.

ШУЛІСЬ ЮЛІЯ АНДРІЙВНА – к.т.н., старший викладач електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

ДЕВЯТКО МАРИНА ВАСИЛІВНА – к.т.н., старший викладач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна.

УДК 681.5.075

С. М. ПЕРЕСАДА, Т.В. ДИННИК

АДАПТИВНИЙ СПОСТЕРІГАЧ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ ЖИВЛЕННЯ

Національний технічний університет України,
«Київський політехнічний інститут»

Анотація. Синтезовано адаптивний спостерігач частоти та миттєвих значень складових двофазної системи напруг мережі живлення для використання в алгоритмах векторного керування. Спостерігач гарантує глобальне експоненційне оцінювання та високу швидкість, що підтверджено шляхом моделювання.

Ключові слова: адаптивний спостерігач, напруга живлення, частота, миттєве значення, амплітуда, асимптотичність.

Аннотация. Синтезирован адаптивный наблюдатель частоты и мгновенных значений составляющих двухфазной системы напряжений питающей сети для использования в алгоритмах векторного управления. Наблюдатель обеспечивает глобальное экспоненциальное оценивание и высокое быстродействие, что подтверждено путем моделирования.

Ключевые слова: адаптивный наблюдатель, питающее напряжение, частота, мгновенное значение, амплитуда, асимптотичность.

Abstract. Adaptive observer of frequency and instantaneous value of two-phase voltage components of mains supply is designed. The observer may be used in vector control algorithms. Designed observer provides global exponential estimation and high performance, which is confirmed by simulation.

Keywords: Adaptive observer, mains supply, frequency, instantaneous value, amplitude, asymptotic.

ВСТУП

Для значної кількості систем перетворення енергії потрібна синхронізація алгоритму векторного керування з вектором напруги живлення. Типовими представниками такого підходу є системи керування активними силовими фільтрами [1], керованими входними випрямлячами перетворювачів частоти [2], асинхронними машинами подвійного живлення [3], та інші. Інформація про значення вектора напруги живлення використовується для здійснення перетворень координат, і тому результати вимірювань потребують додаткової цифрової обробки з метою фільтрації вищих гармонік, імпульсних завад та інших неідеальностей. Типове рішення, яке є промисловим стандартом, базується на використанні систем фазової синхронізації (PLL – Phase locked loops) [4], які є складними нелінійними фільтрами. Метою дослідження є розробка нового концептуального підходу до вимірювання вектору напруги живлення, що базується на використанні адаптивних спостерігачів.

1. Синтез адаптивного спостерігача

Після перетворення трифазної системи напруг в нерухому ортогональну систему координат (a-b) отримаємо

$$\begin{pmatrix} u_{1a} \\ u_{1b} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_m \cdot \cos(\varepsilon_1) \\ U_m \cdot \sin(\varepsilon_1) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де U_m та $\varepsilon_1 = \omega_1 t$ визначають амплітуду та кутове положення вектора напруги, який обертається з постійною кутовою швидкістю ω_1 .

Нехай складові вектора напруги u_{1a} , u_{1b} є вимірюваними, частота напруги ω_1 є невідомою. При виконанні цих припущень необхідно синтезувати адаптивний спостерігач, який гарантує асимптотичність оцінювання складових напруги і частоти так, що

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\tilde{u}_{1a}, \tilde{u}_{1b}, \tilde{\omega}_1) = 0, \quad (2)$$

де $\tilde{u}_{1a} = u_{1a} - \hat{u}_{1a}$, $\tilde{u}_{1b} = u_{1b} - \hat{u}_{1b}$, $\tilde{\omega}_1 = \omega_1 - \hat{\omega}_1$ – похибки оцінювання; $\hat{u}_{1a}$, $\hat{u}_{1b}$, $\hat{\omega}_1$ – оцінки координат u_{1a} , u_{1b} та ω_1 відповідно.

Динамічна модель гармонійного сигналу (1) має вигляд

$$\begin{aligned}\dot{u}_{1a} &= -\omega_1 u_{1b}, & u_{1a}(0) &= U_m, \\ \dot{u}_{1b} &= \omega_1 u_{1a}.\end{aligned}\quad (3)$$

Для динамічної системи (3) сконструюємо адаптивний спостерігач:

$$\begin{aligned}\dot{\hat{u}}_{1a} &= -\hat{\omega}_1 u_{1b} + k \cdot \tilde{u}_{1a}, \\ \dot{\hat{u}}_{1b} &= \hat{\omega}_1 u_{1a} + k \cdot \tilde{u}_{1b}, \\ \dot{\hat{\omega}}_1 &= -\gamma(\tilde{u}_{1a} u_{1b} - \tilde{u}_{1b} u_{1a}),\end{aligned}\quad (4)$$

де $(k, \gamma) > 0$ – параметри налаштування.

З (3) і (4) рівняння динаміки похибок оцінювання мають вигляд

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{u}}_{1a} &= -\tilde{\omega}_1 u_{1b} - k \cdot \tilde{u}_{1a}, \\ \dot{\tilde{u}}_{1b} &= \tilde{\omega}_1 u_{1a} - k \cdot \tilde{u}_{1b}, \\ \dot{\tilde{\omega}}_1 &= -\dot{\hat{\omega}}_1 = \gamma(\tilde{u}_{1a} u_{1b} - \tilde{u}_{1b} u_{1a}).\end{aligned}\quad (5)$$

Для доведення асимптотичності спостерігача (5) розглянемо наступну функцію Ляпунова:

$$V(t) = \frac{1}{2}(\tilde{u}_{1a}^2 + \tilde{u}_{1b}^2 + \gamma^{-1} \tilde{\omega}_1^2). \quad (6)$$

Похідна (6) вздовж траєкторії руху системи (5) має вигляд

$$\dot{V} = -k(\tilde{u}_{1a}^2 + \tilde{u}_{1b}^2). \quad (7)$$

Із виразів (6) і (7) встановлюємо, що $(\tilde{u}_{1a}, \tilde{u}_{1b}, \tilde{\omega}_1)$ є обмеженими, оскільки $V > 0$, $\dot{V} \leq 0$. З іншого боку, оскільки $(u_{1a}, u_{1b}, \omega_1)$ обмежені, то і $(\hat{u}_{1a}, \hat{u}_{1b}, \hat{\omega}_1)$ є обмеженими, а це означає, що $(\dot{\tilde{u}}_{1a}, \dot{\tilde{u}}_{1b})$ обмежені. Отже, $\int_0^t (\tilde{u}_{1a}^2(\tau) + \tilde{u}_{1b}^2(\tau)) d\tau = -\frac{1}{k}(V(t) - V(0)) \leq \frac{V(0)}{k}$, а тому

сигнали $\tilde{u}_{1a}(t), \tilde{u}_{1b}(t)$ є квадратично інтегрованими і обмеженими з обмеженою похідною. З цього пряме використання леми Барбалат дає умову

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{u}_{1a} = 0, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{u}_{1b} = 0. \quad (8)$$

Систему (5) запишемо у наступному стандартному вигляді:

$$\begin{aligned}\dot{\tilde{\mathbf{u}}} &= \mathbf{A} \cdot \tilde{\mathbf{u}} + \mathbf{\Gamma}^T \omega_1, \\ \dot{\omega}_1 &= -\gamma \cdot \mathbf{\Gamma} \cdot \tilde{\mathbf{u}},\end{aligned}\quad (9)$$

де $\tilde{\mathbf{u}} = (\tilde{u}_{1a}, \tilde{u}_{1b})^T$, $\mathbf{\Gamma} = (-u_{1b}, u_{1a})$, $\mathbf{A}$ – матриця, що задовольняє умовам Гурвіца.

Якщо умови персистентності збудження задовольняються, тобто матриця

$$\int_t^{t+t_1} \Gamma(\tau) \cdot \Gamma^T(\tau) d\tau \quad (10)$$

є позитивно визначеною для деякого $t_1 > 0$, а також усіх $t \geq 0$, то оскільки $\dot{\Gamma}(t)$ обмежена, положення рівноваги $(\tilde{u}_{1a}, \tilde{u}_{1b}, \tilde{\omega}_1) = 0$ є експоненційно стійким. Умова (10) має вигляд $(u_{1a}^2 + u_{1b}^2) > 0$, тобто модуль напруги має бути ненульовим

Для оцінювання значення модуля вектора напруги маємо $|\hat{\mathbf{u}}|^2 = \hat{u}_{1a}^2 + \hat{u}_{1b}^2$, а з урахуванням (8) встановлюємо, що $\lim_{t \rightarrow \infty} |\hat{\mathbf{u}}|^2 = U_m^2$.

Введемо наступні позначення:

$$\cos(\hat{\varepsilon}_1) = \frac{\hat{u}_{1a}}{\sqrt{\hat{u}_{1a}^2 + \hat{u}_{1b}^2}}, \quad \sin(\hat{\varepsilon}_1) = \frac{\hat{u}_{1b}}{\sqrt{\hat{u}_{1a}^2 + \hat{u}_{1b}^2}}, \quad (11)$$

де $\hat{\varepsilon}_1$ – оцінка ε_1 .

Враховуючи (8) отримуємо, що

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \cos(\hat{\varepsilon}_1) = \cos(\varepsilon_1) = \frac{u_{1a}}{U_m}, \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \sin(\hat{\varepsilon}_1) = \sin(\varepsilon_1) = \frac{u_{1b}}{U_m}. \quad (12)$$

Звідки для похибки оцінювання кута $\tilde{\varepsilon}_1 = \varepsilon_1 - \hat{\varepsilon}_1$ маємо $\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\varepsilon}_1 = 2\pi n, n = 0, 1, 2, \dots, \infty$.

Таким чином синтезований адаптивний спостерігач гарантує глобальне асимптотичне оцінювання компонент вектора напруги живлення u_{1a}, u_{1b} , а також його частоти обертання ω_1 . Оскільки динамічна система (4) може розглядатись також як адаптивний фільтр, то в оцінених значеннях $\hat{u}_{1a}, \hat{u}_{1b}$ буде забезпечуватися фільтрація вищих гармонік.

2. Дослідження динамічних властивостей спостерігача

Для дослідження динамічних властивостей спостерігача моделювався сигнал (3), що відповідає стандартним параметрам мережі з амплітудою фазної напруги $U_m = \sqrt{2} \cdot 220 \text{ В}$, та частотою $\omega_1 = 2\pi \cdot 50$ рад/с. Початкові значення спостерігача дорівнювали $\hat{u}_{1a}(0) = U_m, \hat{u}_{1b}(0) = 0, \hat{\omega}_1(0) = 0.9 \cdot \omega_1$, а коефіцієнти спостерігача $\gamma = 1, k = 500$. Після відпрацювання початкових умов в момент часу 0,1с амплітуда напруги стрибком зростала на 10%. Отримані перехідні процеси показані на рис. 1. Помилки оцінювання частоти та складових напруги спадають до нуля менше ніж за один період напруги.

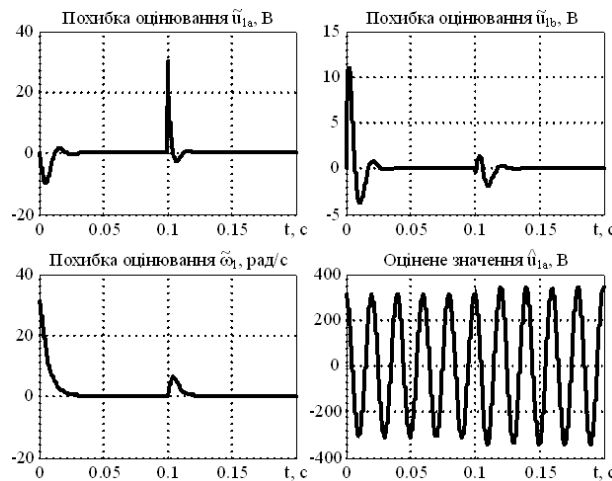


Рис. 1. Отримані перехідні процеси

ВИСНОВКИ

Представлено результати синтезу адаптивного спостерігача частоти і миттєвих значень складових вектора напруги мережі живлення на основі вимірювання складових напруги. Синтезований спостерігач забезпечує експоненційне зменшення до нуля похибок спостереження та оцінювання з довільною швидкістю. Оцінені значення частоти та складових вектора напруги мережі живлення можуть бути використані в координатних перетвореннях векторних алгоритмів керування. Адаптивний спостерігач додатково забезпечує фільтрацію оцінених складових вектора напруги відносно виміряних значень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. B. Singh, K. Al-Haddad and A. Chandra. "A review of active filters for power quality improvement". IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol.46, no 5, Oct. 1999, pp. 960-971.
2. Пересада С. М., Король С. В., «Новая концепция управления входным преобразователем: формирование полной энергии преобразования» //Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Силовая електроніка та енергоефективність”. –2002. –Ч. 1. –С. 66 – 70.
3. S. Peresada, A. Tilli, A. Tonielli, "Robust Active-Reactive Control of a Doubly-Fed Induction Machine", Proc. of IEEE - IECON'98, Aachen, Germany, Sept. 1998, pp.1621-1625.
4. G-C.Hsieh, J.C. Hung. Phase-locked loop techniques-a survey" IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol.43, no.6, 1996, pp. 609-615.

Надійшла до редакції 09.12.2013р.

ПЕРЕСАДА СЕРГІЙ МИХАЙЛОВИЧ – д.т.н., проф., завідувач кафедри автоматизації електромеханічних систем та електроприводу, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна.

ДИННИК ТАРАС ВОЛОДИМИРОВИЧ – аспірант, здобувач кафедри Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», інженер 1к бюро тех. засобів АСК ТП управління автоматизації і механізації ПРАТ «ДонецькСталь-МЗ», м. Київ, Україна.

УДК 629.423.1

О.І. САБЛІН, В.Г. КУЗНЕЦОВ, В.В. АРТЕМЧУК

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

*Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*

Анотація. Розглянуто сучасний стан використання рекуперації електроенергії в системі електричної тяги та пов'язані з цим проблеми. Виконана оцінка потенціалу енергозбереження за рахунок повного використання енергії гальмування та розглянуті шляхи подальшого підвищення ефективності рекуперації електроенергії неавтономного електротранспорту.

Ключові слова: електротранспорт, рекуперація, електроенергія, надлишкова, ефективність.

Аннотация. Рассмотрено современное состояние использования рекуперации электроэнергии в системе электрической тяги и связанные с этим проблемы. Выполнена оценка потенциала энергосбережения за счет полного использования энергии торможения и рассмотрены пути дальнейшего повышения эффективности рекуперации электроэнергии неавтономного электротранспорта.

Ключевые слова: электротранспорт, рекуперация, электроэнергия, избыточная, эффективность.

Abstract. Considers the current state of the use of energy recuperation in the system of electric traction and related problems. The estimation of the energy saving potential by making full use of braking energy, and examined ways to further improve the efficiency of energy recuperation of electric transport.

Keywords: transport, recovery, electricity, excessive efficiency.

ВСТУП

Рекуперація електроенергії при гальмуванні електротранспорту є найпотужнішим джерелом зниження енергоємності системи електричної тяги, яке на сучасній технічній базі також дозволяє плавно регулювати гальмівну силу майже до зупинки транспортного засобу, зменшує викиди в навколишнє середовище металевих пилю від механічного гальмування, підвищує плавність ходу та безпеку руху. Проте до сьогодні існують технологічні проблеми раціонального використання потенціалу рекуперації, одна з яких полягає в необхідності електротягового навантаження в зоні рекуперації, що не може бути в повній мірі забезпечено існуючими графіками руху поїздів.

Розвиток рекуперації електроенергії в системі електротранспорту є комплексною проблемою, яка включає в себе вплив електродинамічного гальмування залізничного електротранспорту (особливо з зосередженою тягою) на верхню будову колії та динаміку поїзда, проблеми електромагнітної сумісності рекуперуючого електрорухомого складу (ЕРС) та рейкових кіл автоблокування і локомотивної сигналізації, а також електроенергетичні проблеми в системі тягового електропостачання (СТЕ), пов'язані з якістю енергії рекуперації, її втратами, та впливом на систему зовнішнього електропостачання. Тому вирішення задач підвищення ефективності рекуперації електроенергії в системі електричної тяги потребують системного багатофакторного підходу до оптимізації режимів електропостачання та рекуперативного гальмування ЕРС, що на сьогодні в повній мірі не розроблено.

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вдосконаленню процесів відновлення енергії електротранспорту при гальмуваннях присвячена велика кількість робіт багатьох дослідників [1], направлених на збільшення обсягів енергії рекуперації, розробку заходів щодо її ефективного використання, підвищення надійності електрообладнання при рекуперації та автоматизацію режиму.

Кількість електроенергії (кВт·год), що може бути рекуперована електротранспортним засобом при гальмуванні для зупинки або для зниження швидкості визначається зменшенням його кінетичної енергії і дорівнює [2]

$$A_{\text{рек}} = 10^{-5} m \left(1,073(1 + \gamma)(v_{\text{п}}^2 - v_{\text{к}}^2) - \frac{\omega_0 \pm i_{\text{ср}}}{102(1 + \gamma)a} \right) \eta_{\text{рек}}, \quad (1)$$

де m – маса поїзда, кН; $(1 + \gamma)$ – коефіцієнт інерції оберткових мас поїзда; $v_{\text{п}}$, $v_{\text{к}}$ – швидкість відповідно на початку і кінці гальмування, м/с; a – уповільнення поїзда при гальмуванні, м/с²; ω_0 – основний питомий опір руху поїзда на ділянці гальмування, Н/кН; $i_{\text{ср}}$ – середній ухил ділянки гальмування, ‰; $\eta_{\text{рек}}$ – ККД ЕРС в режимі рекуперації. При гальмуванні поїзда для підтримки заданої швидкості руху на спусках кількість генерованої електроенергії визначається потенційною енергією поїзда, як [2]

$$A_{\text{рек}} = 2,77 \cdot 10^{-3} m (i_{\text{ср}} - \omega_0) s_{\text{ш}} \eta_{\text{рек}}, \quad (2)$$

де $s_{\text{ш}}$ – довжина шкідливого спуску, м.

В умовах реальної експлуатації на кількість електроенергії, яка може бути повернена в мережу при гальмуваннях ЕРС окрім параметрів, що входять до формул (1) і (2), впливає багато, в тому числі випадкових, факторів, таких як наявність електротягового навантаження в зоні рекуперації, необхідний режим гальмування, кваліфікація машиніста та ін. При раціональних режимах руху поїздів рекуперація дозволяє повернути в мережу значну частину витраченої електроенергії, що особливо актуально для електротранспорту циклічної дії (тролейбуси, трамваї, метро, електропоїзда), у якого потенціал рекуперації теоретично сягає 60...70 % [3], оскільки при частих прискореннях та гальмуваннях на здійснення роботи з подолання сил опору руху витрачається менше половини сумарної енергії, що споживається на рух поїзда, а інша її частина переходить у кінетичну енергію, яка при відсутності рекуперації розсіюється в гальмах для зупинки. Реально, на сьогодні досягається максимальна економія енергії у вантажному та пасажирському русі поїздів лише 3...12 %, а при циклічній тязі – 15...25 %.

Раціональні режими гальмування ЕРС, направлені на підвищення обсягів рекуперації електроенергії на сьогодні достатньо розроблені. Наприклад, для вантажних електровозів розроблені режими так званої інтенсивної рекуперації [2], при яких можна збільшити повернення енергії в мережу на 30...40 % за рахунок меншого уповільнення при гальмуванні, але такі режими приводять до зростання перегінного часу ходу та зменшення пропускну здатності залізниць.

Одним з основних недоліків режиму рекуперації неавтономного електротранспорту є його значна залежність від режиму напруги в контактній мережі. Для надійного електродинамічного гальмування у всьому діапазоні напруг на ЕРС застосовують систему автоматичного рекуперативно-реостатного гальмування, при якій тяговий засіб переходить з рекуперації в режим реостатного гальмування якщо напруга на струмоприймачі перевищує максимально допустиме значення. При цьому однак генерована енергія використовується неефективно, бо втрачається в реостатах.

Збільшення рекуперації електроенергії в системі електричної тяги вимагає впровадження відповідних організаційних та технологічних заходів з боку СТЕ, які при існуючих графіках руху повинні забезпечити прийом та ефективне використання виробленої енергії іншими поїздами. Одним з таких заходів є встановлення оптимальних рівнів напруг холостого ходу на шинах тягових підстанцій (ТП), при яких можливе перетікання надлишкової енергії рекуперації на сусідні міжпідстанційні зони (МПЗ), що однак супроводжується збільшенням втрат енергії в тяговій мережі, особливо на одноколійних ділянках. В результаті імітаційного моделювання режимів СТЕ встановлено [4], що оптимальні напруги на шинах ТП дозволяють збільшити обсяги рекуперації енергії на 10 % і на 50 % зменшити кількість зривів рекуперативного гальмування, що в результаті дає зниження електроспоживання на тягу за лічильниками ТП близько 5 %.

Як вже було сказано, можливість ефективного використання енергії рекуперації від поїзда, що перебуває в режимі гальмування визначається наявністю поїздів у режимі тяги на одній МПЗ. Однак існуюча організація руху поїздів не може в повній мірі вирішувати вказану задачу, що приводить до утворення, так званої, надлишкової енергії рекуперації. У більшості випадків це викликає зрив режиму рекуперації і втрату потенційно можливої енергії гальмування поїзда (втрати енергії в механічних гальмах або реостатах). Оцінка рівня такої енергії при роботі окремого ЕРС в умовах експлуатації представляє певні труднощі, оскільки встановлені на існуючому рухомому складі лічильники дозволяють реєструвати лише енергію витрачену на тягу та повернуту в мережу при рекуперації. В СТЕ об'єми невикористаної на тягу енергії рекуперації можуть бути оцінені за показаннями лічильників на поглинаючих резисторах або інверторах ТП.

Для оцінки потенціалу рекуперації електроенергії в системі електричної тяги в даній роботі було

застосовано спеціалізований програмний комплекс «Автоматизована система раціональних режимів тягового електропостачання» [5], який на базі імітаційного моделювання потоку поїздів дозволяє виконувати розрахунки режимів СТЕ з заданими параметрами та обчислювати витрати енергії на тягу, енергію рекуперації та надлишкову енергію рекуперації поїздів. Для розрахунків була обрана двоколійна ділянка системи електричної тяги постійного струму Ясинувата-Чаплино Донецької залізниці, довжиною 143,6 км, середнім ухилом 2,1 ‰, яка містить 7 МПЗ. Статистичні розподіли та основні імовірнісні характеристики енергій, отриманих при моделюванні, приведені на рис. 1.

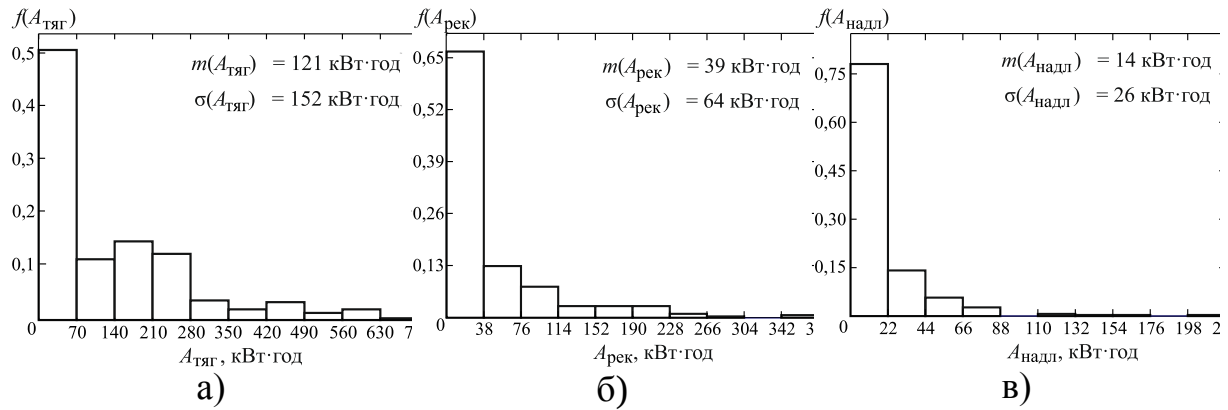


Рис. 1. Гістограми витрати енергії на тягу $A_{\text{тяг}}$ (а), енергії рекуперації $A_{\text{рек}}$ (б) та надлишкової енергії рекуперації $A_{\text{надл}}$ (в) поїздів на ділянці Ясинувата-Чаплино

В результаті моделювання встановлено, що на розглядуваній ділянці енергія рекуперації поїздів $A_{\text{рек}}$ може сягати 60 % від витраченої енергії на тягу $A_{\text{тяг}}$ (рис. 1), що особливо характерно для ділянок зі значними спусками. Надлишкова енергія рекуперації $A_{\text{надл}}$ визначалася з врахуванням існуючого графіку руху поїздів на ділянці, що дозволило оцінити ефективність використання рекуперованої енергії (іншими поїздами на тягу), яка становить не більше 65 % (від виробленої електроенергії при гальмуванні поїздів), а інша її частина втрачається. Оскільки на сьогодні системою рекуперативного гальмування парк ЕРС обладнаний неповністю, крім того з ряду причин в експлуатаційній роботі рекуперація використовується не завжди, тому можна припустити, що в перспективі, коли рекуперативне гальмування буде основним засобом гальмування, проблема надлишкової енергії рекуперації більш загостриться.

В системі електричної тяги магістрального залізничного транспорту проблема надлишкової енергії рекуперації вирішується за рахунок реверсування такої енергії в зовнішню систему електропостачання, що однак потребує на ТП додаткового обладнання. Так на ТП системи електротяги постійного струму (3,3 кВ), що обладнані інверторами, надлишкова енергія рекуперації повертається в первинну енергосистему, але при цьому погіршуються її режими. На рис. 2 представлені графіки потужності електротранспорту постійного струму в умовах реальної експлуатації, з яких видно, що ЕРС при гальмуваннях генерує нестабільну енергію імпульсного характеру, яка поступає в первинну мережу ще більш спотвореною після інвертування.

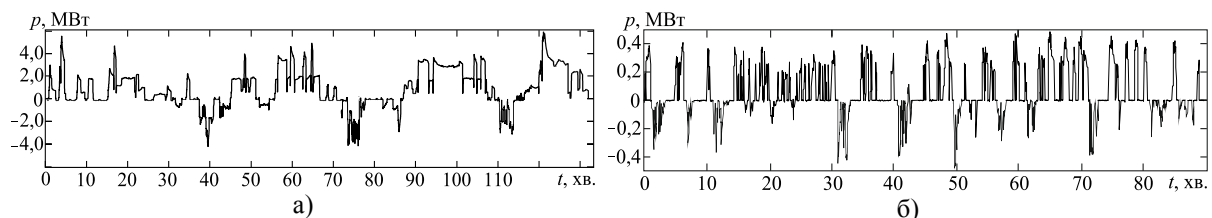


Рис. 2. Часові діаграми потужності вантажного електровоза ДЕ1 (а) і трамваю ТЗД (б) (рекуперація при $p < 0$)

У електровозів пік-фактор генерованої потужності при рекуперації досягає значення 7,52, коефіцієнт форми 3,72, коефіцієнт гармонік 3,6 [6], а у трамваїв ці показники ще гірші. При передачі такої енергії по тяговій мережі до 10 % від неї втрачається в СТЕ, крім того повернення енергії в первинну систему електропостачання має ще ряд суттєвих недоліків:

– ускладнюється обладнання ТП;

– при включенні інвертора в мережу виникають циркуляційні струми в контурі, утвореному випрямлячами;

– енергія, що передається в первинну мережу має низьку якість;

– погіршується режим живлення нетягових споживачів;

– значно підвищується напруга в тяговій мережі.

Для забезпечення якості електроенергії рекуперації згідно вимог стандарту ГОСТ 13109-97 необхідно значне вдосконалення і ускладнення обладнання ТП, що виконують прийом і передачу надлишкової енергії рекуперації в первинну енергосистему, тому проблема поліпшення якості такої енергії набуває дуже важливого значення.

На ТП системи електропостачання тяги змінного струму (27,5 кВ, 50 Гц) надлишкова енергія рекуперації при певних умовах безпосередньо може бути повернена у зовнішню систему електропостачання, однак вона володіє перерахованими недоліками. Тут важливо зазначити, що повернення надлишкової енергії рекуперації в первинну енергосистему з ТП, як постійного струму (після інвертування), так і змінного струму (безпосередньо) можливо тільки за умови, що система зовнішнього електропостачання здатна прийняти цю енергію. Таким чином, виникає необхідність фундаментального дослідження проблеми доцільності передачі надлишкової енергії рекуперації в зовнішню систему електропостачання або її локалізації в енергосистемі електричної тяги. У зв'язку з цим організаційним заходом щодо підвищення ефективності використання надлишкової енергії рекуперації залишається розробка енергооптимальних графіків руху поїздів.

Для локалізації надлишкової енергії рекуперації в системі електричної тяги в останній час поширюються дослідження і часткові впровадження накопичувачів електроенергії, застосування яких в СТЕ, крім цього дозволяє істотно знизити встановлену потужність ТП. На сьогодні в системі електропостачання метрополітенів використовуються інерційні механічні накопичувачі, наприклад типу НКЕ-3В з енергоємністю 6,5 кВт·год та ККД 0,97. Комплекс з 12 енергоблоків накопичувачів даного типу дозволяє акумулювати енергію з потужністю 1,5...2,5 МВт, що дозволяє забезпечити пуск та розгін до швидкості 60 км/год двох електропоїздів метрополітену. Використання ємнісних або надпровідних індуктивних енергоємних елементів на сьогодні ще не отримало поширення і знаходиться на стадії доопрацювання. З іншого боку розробляються схемні рішення на предмет застосування накопичувальних пристроїв безпосередньо на борту неавтономного електротранспорту, де в якості акумулюючих елементів на сьогодні розглядаються лише конденсатори. Перевагою такого розташування є мінімізація втрат енергії рекуперації при її передачі до накопичувача, проте це погіршує масогабаритні показники ЕРС. У цьому зв'язку питання про оптимальне розташування накопичувального елемента в системі електричної тяги на сьогодні залишається відкритим і потребує більш глибокого вивчення.

ВИСНОВКИ

В результаті імітаційного моделювання було визначено потенціал рекуперації електроенергії в системі електричної тяги на прикладі Донецької залізниці. Встановлено, що на розглядуваній ділянці енергія рекуперації поїздів може сягає 60 % від затраченої енергії на тягу, а надлишкова енергія рекуперації, яка визначалась з урахуванням реальних графіків руху поїздів, становить 35 % від виробленої енергії. Потенціал рекуперації електроенергії суттєво залежить від параметрів ділянки (довжини, ухилу) та існуючого графіка руху поїздів, тому повинен визначатися окремо для кожної ділянки системи електричної тяги. Для розвитку рекуперації електроенергії та ефективного використання її потенціалу потрібна комплексна оцінка та наукове обґрунтування технічних засобів та методів регулювання її якості. Одним з перспективних технологічних напрямків підвищення ефективності використання рекуперації електроенергії в системі електричної тяги є розвиток методів і засобів ситуаційного керування режимами СТЕ, в першу чергу ситуаційне керування режимами напруги.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гетьман Г. К. Теория электрической тяги / Г. К. Гетьман. – Дн-вск : Изд-во Маковецкий, 2011. – 456 с.
2. Сулима С. Д. Повышение эффективности рекуперативного торможения электровозов постоянного тока / С. Д. Сулима, дис... канд. техн. наук. – Дн-вск, 2001. – 189 с.
3. Сидорова Н. Н. Энергоёмкость перевозочного процесса в электрической тяге поездов и обоснование путей энергосбережения / Н. Н. Сидорова, дис... докт. техн. наук. – Москва, 2001. – 286 с.
4. Тарута П. В. Повышение эффективности использования энергии рекуперации в системе тягового электроснабжения постоянного тока / П. В. Тарута, дис... канд. техн. наук. – Омск, 2004. – 164 с.
5. Автоматизована система раціональних систем тягового електропостачання: свід-во про реєстр. авт. прав на твір № 46611, зареєстр. 03.12.2012, Україна / Кузнецов В. Г., Шинкаренко В. І., Коваленко Н. В.; заявник та власник Дніпропетр. нац. ун-тет залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.
6. Саблин О. И. Анализ качества рекуперированной электроэнергии в системе электрического

транспорту / О. И. Саблин // Вестник НТУ«ХПИ». – Харьков, 2013. – Вип. 38. – С. 186-189.

Надійшла до редакції 09.12.2013р.

САБЛІН ОЛЕГ ІГОРОВИЧ – к.т.н., доцент, доцент кафедри електротехніки та електромеханіки, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ, Україна.

КУЗНЕЦОВ ВАЛЕРІЙ ГЕННАДІЙОВИЧ – д.т.н., доцент, професор кафедри електропостачання залізниць, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ, Україна.

АРТЕМЧУК ВІКТОР ВАСИЛЬОВИЧ – д.т.н., доцент, професор кафедри електрорухомого складу залізниць Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ, Україна.

УДК 532.783

О.З. ГОТРА¹, А.В. ФЕЧАН¹, Г.І. БАРИЛО¹, О.В. БОЙКО², М. В. ВІСЬТАК²,
О.Є. СУШИНСЬКИЙ¹, О.В. ЧАБАН¹, Т.В. ПРИСТАЙ^{1,7}

ПОЛІМЕР-ДИСПЕРГОВАНИЙ РІДКОКРИСТАЛІЧНИЙ МАТЕРІАЛ ЯК АКТИВНЕ СЕРЕДОВИЩЕ ПЕРВИННОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ОПТИЧНОГО СЕНСОРА ТЕМПЕРАТУРИ

¹Національний університет «Львівська політехніка»

79013, вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна,

E-mail: zmykytyuk@polinet.lviv.ua, tel: +38-032-2582162

²Львівський національний медичний університет ім. Д. Галицького

79010, вул. Пекарська, 69, м. Львів, Україна

Анотація. В роботі досліджено оптичні властивості полімер-диспергованих рідких кристалів (ПДРК) на основі фотополімеру «Формат ФВ-72» та KET90600, KET90700 холестеричних рідких кристалів (ХРК) в температурному інтервалі 20-80 °С. Показана можливість використання таких ПДРК як активного середовища первинних перетворювачів оптичних сенсорів температури. Запропоновано конструкцію оптичного сенсора температури.

Аннотация. В работе исследованы оптические свойства полимер-диспергированных жидких кристаллов (ПДЖК) на основе фотополимера «Формат ФВ-72» и KET90600, KET90700 холестерических жидких кристаллов (ХЖК) в температурном интервале 20-80 °С. Показана возможность использования таких ПДЖК в качестве активной среды первичных преобразователей оптических сенсоров температуры. Предложена конструкция оптического сенсора температуры.

Abstract. In paper the optical properties of polymer dispersed liquid crystals (PDLC) on the basis of the "Format FV-72" photopolymer and KET90600, KET90700 cholesteric liquid crystals (CLC) in temperature range 20-80 °C are carried out. We proposed to use the PDLC based on our materials an active medium of primary transducer of optical temperature sensors. The construction of our temperature sensor is proposed.

Ключові слова: холестеричний рідкий кристал, ПДРК, температурний оптичний сенсор

ВСТУП

Поряд з класичним застосуванням рідких кристалів (РК) як активного середовища пристроїв відображення інформації все більше досліджень спрямовано на можливість їхнього використання як чутливих елементів для розробки сенсорів температури, тиску та шкідливих речовин, які використовуються для моніторингу навколишнього середовища [1-2]. Такий інтерес викликаний їхніми унікальними властивостями, зокрема високою чутливістю до зовнішніх електричних та магнітних полів, температури, тиску тощо. Останнім часом проводяться численні дослідження в напрямку створення сенсорів, джерелом інформації в яких є оптичне випромінювання, а не електричний сигнал [3]. Їхньою перевагою є можливість стабільної роботи в умовах високого рівня електромагнітних завад. Оптичні сенсори базуються на оптоелектронних приладах, що складаються з джерела світла, фотоприймача і оптично активного середовища. Зміна оптичних властивостей цього середовища під дією зовнішнього фактора впливає на вихідний сигнал фотоприймача, що використовується для детектування температури.

Робота присвячена актуальній темі розробки оптичних сенсорів на основі полімер-диспергованих рідкокристалічних матеріалів [4].

ЕКСПЕРИМЕНТ

Об'єктами дослідження були фотополімерний матеріал "Фомат ФВ-72" до якого додавали холестеричний рідкий кристал у концентраціях 30, 40 ваг.%. Фотополімерна композиція "Фомат ФВ-72" виготовляється згідно з технічними умовами "Композиція фотополімеризаційна "Фомат ФВ-72". Як РК матеріал нами було використано холестеричні рідкі кристали KET90600 та KET90700 (HCCN Jiangsu

Hecheng Chemical Materials Co, Ltd). Діапазон зміни кроку обох рідкокристалічних матеріалів спіралі лежить у видимій області спектра. Характеристики холестеричних РК наведені в таблиці.

Таблиця 1.

Деякі характеристики використаних холестеричних РК

Матеріал	Температурний інтервал існування мезофази, °C	Діапазон зміни кроку спіралі, нм
KET90600	-20 – +90	410-560
KET90700	-20 – +95	500-640

Одна з істотних вимог до вибраних матеріалів – взаємна нерозчинність полімеру і рідкого кристала, що є умовою утворення крапель РК в шарі полімеру в наслідок перемішування.

ПДРК готувались за допомогою механічного перемішування протягом 30 сек при 50 об/хв.

Такі умови отримання емульсії дають можливість мінімізувати розкид розмірів крапель рідкого кристала. Максимальна швидкість обертання мішалки обмежується процесом утворення повітряних пухирів, що значно погіршує структуру отриманих ПДРК. Емульсія мономер-холестеричний РК розміщувалась між двома скляними пластинами. Товщина шару емульсії задавалась за допомогою спейсерів і становила 100-200 мкм. Отриманий зразок опромінювався ультрафіолетовою лампою зі спектром типу А ($\lambda_{\max}=320$ нм) впродовж 20хв. Така тривалість експозиції забезпечувала повну полімеризацію зразка.

Світлини отриманих ПДРК зображено на рис. 1, та рис.2.

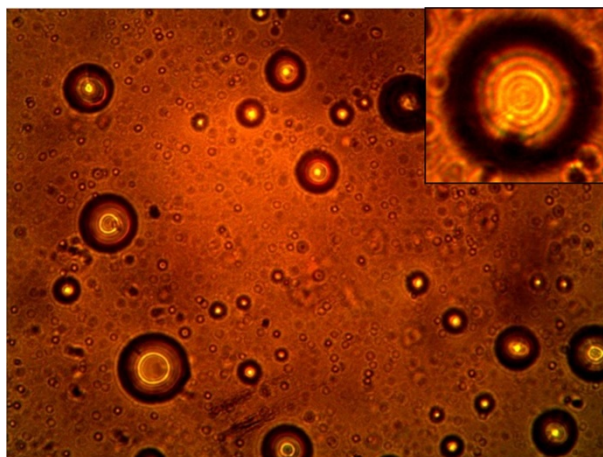


Рис.1. Світлини, отримані під оптичним мікроскопом для ПДРК Фомат ФВ-72+30% KET90600 (вставка – збільшене зображення холестеричної краплі)

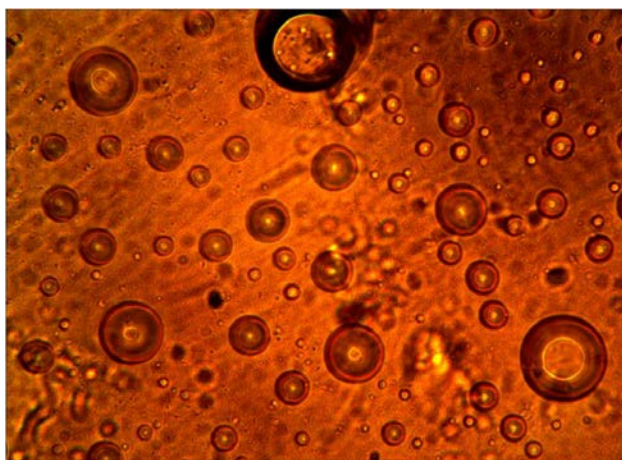


Рис.2. Світлини, отримані під оптичним мікроскопом для ПДРК Фомат ФВ-72+40% KET90600

На світлинах добре видно сформовані краплі холестеричного рідкого кристала в об'ємі полімеру. Про те, що РК в краплі перебуває в холестеричному стані, свідчать кільця, які добре видно на вставці рис. 1. Присутність явища селективного відбивання в отриманих зразках дає змогу оцінити розмір

рідкокристалічних крапель, розташованих в об'ємі полімерної матриці.

Ефект селективного відбивання (СВ) у холестеричних рідких кристалах обумовлений наявністю в орієнтованій планарній текстурі ХРК фазової ґратки по товщині шару з періодом, рівним половині кроку спіралі P , що й забезпечує селективне відбивання певної довжини хвилі залежно від P . Селективні властивості ХРК і зміна кроку спіралі з температурою уможливають створення на їх основі первинних перетворювачів сенсорів температури.

Середній розмір отриманих крапель можна оцінити як 30-50 мкм. Збільшення концентрації рідкокристалічної компоненти приводить до зростання кількості крапель та їхнього розміру. Розкид розмірів рідкокристалічних крапель переважно залежить від режиму перемішування.

Спектральні характеристики холестеричних рідких кристалів та ПДРК на їх основі отримувались за допомогою оптоволоконного дифракційного спектрометра USB2000 виробництва фірми Ocean Optics.

На рис. 3, та рис. 4 зображено температурні залежності максимуму селективного відбивання досліджених холестериків та ПДРК на їх основі. Як видно з отриманих залежностей, зростання температури приводить до зміщення максимуму довжини хвилі селективного відбивання в напрямку більших довжин хвиль. Така поведінка рідкого кристала пояснюється збільшенням кроку холестеричної спіралі з ростом температури. В холестеричному рідкому кристалі, впровадженому в полімерну матрицю, спостерігається явище селективного відбивання. Однак максимуми селективного відбивання чистого РК і ПДРК не збігаються. Для ПДРК спостерігається зменшення довжини хвилі максимуму порівняно з чистим матеріалом.

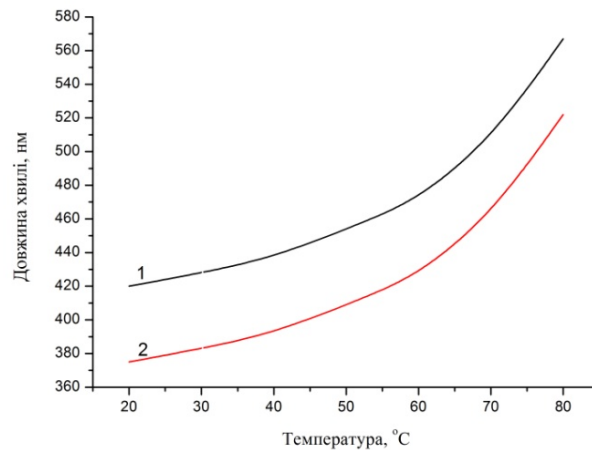


Рис. 3. Залежність максимуму селективного відбивання від температури для КЕТ90600:1 – чистий ХРК; 2 – ПДРК

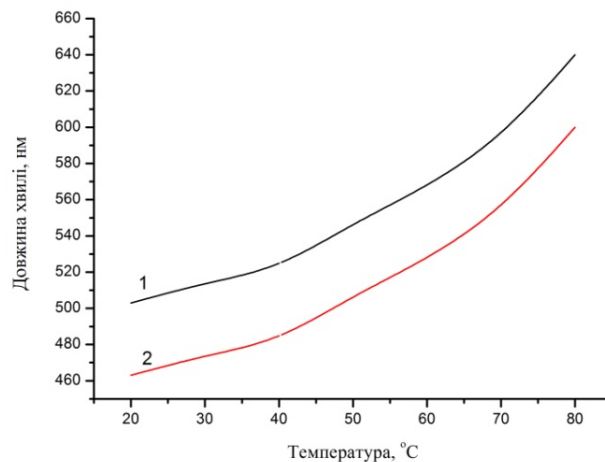


Рис. 4. Залежність максимуму селективного відбивання від температури для КЕТ90700: 1 – чистий ХРК; 2 – ПДРК

Проведені дослідження дали змогу запропонувати конструкцію сенсора температури.

ПРИНЦИП ДІЇ ОПТИЧНОГО СЕНСОРА ТЕМПЕРАТУРИ

Оптичні сенсори складаються з джерела світла, фотоприймача й оптично активного середовища. Зміна оптичних властивостей цього середовища під дією зовнішнього фактора впливає на вхідний сигнал фотоприймача, що можна використати для детектування температури [5].

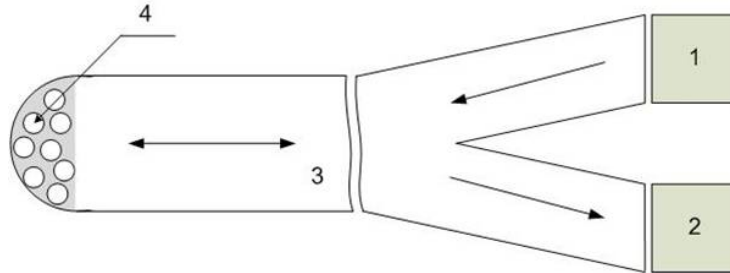


Рис.5. Оптичний сенсор температури: 1 – джерело випромінювання (біле світло); 2 – приймач (чутливий до довжини хвилі випромінювання); 3 – оптоволокно; 4 – первинний перетворювач (термочутливий ПДРК)

Принцип дії оптичного сенсора температури базується на зміні кроку надмолекулярної спіральної структури під дією температури. Схема сенсора зображена на рис. 5. Біле світло від джерела випромінювання 1, пройшовши крізь оптоволокно 3, потрапляє в первинний перетворювач, де внаслідок явища селективного відбивання світла в світловод повертається випромінювання, довжина хвилі якого відповідає кроку спіралі холестеричного рідкого кристала всередині первинного перетворювача. Довжина хвилі відбитого випромінювання реєструється за допомогою оптичного приймача. Цей параметр несе інформацію про температуру. Перевагою такої конструкції є простота первинного перетворювача, який створюється зануренням торця світловода в емульсію з подальшою полімеризацією.

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Практична реалізація оптичного сенсора температури проведена з використанням сучасних електронних компонентів, які дозволяють мінімізувати апаратні затрати і водночас досягти високих метрологічних характеристик. Пристрої такого типу доцільно будувати на мікроконтролерах сімейства PSoC, які володіють гнучкою архітектурою та дають змогу проводити аналіз та обробку вхідних сигналів з мінімальними апаратними затратами. Узагальнена структурна схема такого сенсора, побудованого на основі програмованого мікроконтролера наведена в [5] та [6]. Для побудови даного сенсора необхідне лише одне джерело випромінювання яке реалізоване з допомогою світлодіода білого світла. Реєстрація оптичного потоку здійснюється з допомогою інтегрованого напівпровідникового фотоприймача (RGB сенсора). Сформований електричний сигнал, після попереднього підсилення, надходить на порти вводу мікроконтролера, який здійснює попередню обробку та аналіз. Вбудоване програмне забезпечення мікроконтролера дає можливість реалізувати заданий алгоритм відповідно до вхідних параметрів сенсора. Функціональна схема пристрою наведена на рис. 6.

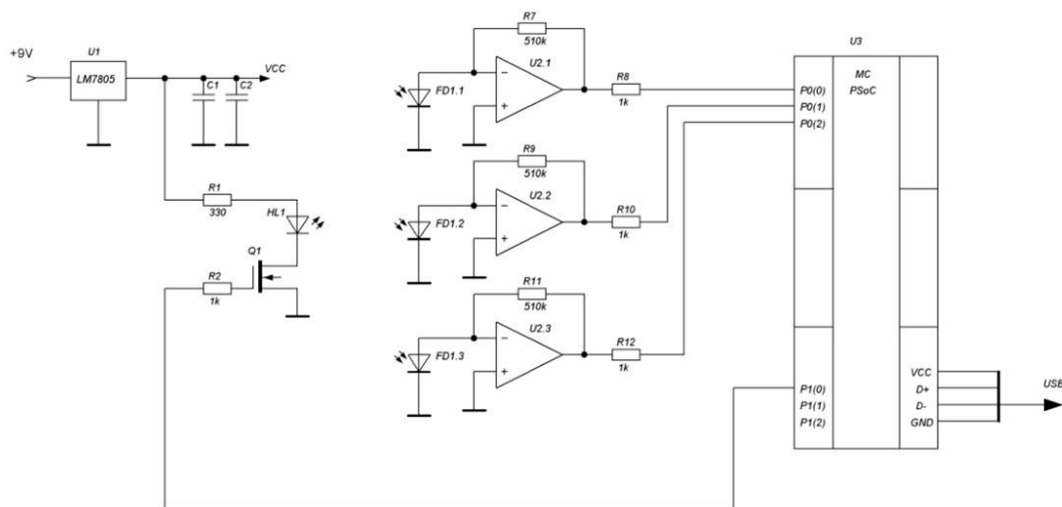


Рис. 6. Функціональна схема пристрою

Кінцеві результати вимірювань відображаються РК дисплеї через вихідний порт мікроконтролера та можуть бути передані на ПК через USB інтерфейс. Такий підхід для реалізації сенсора забезпечує формування масиву даних із відповідними поправками для вимірювання різних температур та зменшити вплив перехідних характеристик фотоперетворювача на результати вимірювання. Поєднання декількох первинних сенсорів в одній мікропроцесорній системі дозволяє створювати складні багатопараметричні системи контролю температури.

ВИСНОВКИ

Показано, що полімерний матеріал «Фомат ФВ-72» в поєднанні з холестеричними рідкими кристалами KET90700 та KET90600 дає змогу отримати стабільні полімер-дисперговані матеріали.

Для всіх отриманих ПДРК максимум селективного відбивання зміщується в бік коротших довжин хвиль, що пояснюється впливом обмежуючої поверхні краплі на крок надмолекулярної спіральної структури холестерика.

На основі отриманих матеріалів запропонована конструкція оптичного сенсора температури та проведено його практичну реалізацію.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. The field stabilization of optic-active medium of harmful substances sensors / Z. Hotra, Z. Mykytyuk, A. Fechan, O. Sushynskyy, O. Yasynovska // *Elektronika*. – 2010. – No. 6. – P.162-163.
2. Magnetically Controlled Liquid Crystalline Structures for Fiber-Optic Link / Z. Hotra, Z. Mykytyuk, A. Fechan, O. Sushynskyy, O. Chaban // *ANNUAL JOURNAL OF ELECTRONICS*, Volume 6. – 2012. – P. 95-98.
3. Optical Sensors Based on Plastic Fibers / Lúcia Bilro, Nélia Alberto, João L. Pinto and Rogério Nogueira // *Sensors* -2012, – P.12184-12207.
4. New Polymers for Special Applications / Ailton De Souza Gomes // *InTech*, September 12, 2012, 356 p.
5. Температурний сенсор на основі селективного відбивання в рідких кристалах / Микитюк З.М., Фечан А.В., Сушинський О.Є., Баріло Г.І., Бойко О.В., Іванюк Х.Б., Турик П.М. // *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. – 2012. – № 2 (24), с.147-151.
6. Selected issues on temperature sensors / O. Hotra // *Lublin University of Technology*, Poland. – 2013, P. 216.

Надійшла до редакції 11.12.2013р.

ГОТРА ОЛЕКСАНДРА ЗІНОВІЙВНА – д.т.н., професор кафедри електротехніки та інформатики інституту електроніки та інформаційних технологій Люблінської політехніки, м. Люблін, Польща.

ФЕЧАН АНДРІЙ ВАСИЛЬОВИЧ – д.т.н., професор кафедри електронних приладів Національного університету “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна.

БАРИЛО ГРИГОРІЙ ІВАНОВИЧ – к.т.н., доцент кафедри електронних приладів Національного університету “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна.

СУШИНСЬКИЙ ОРЕСТ ЄВГЕНОВИЧ – к.ф.-м.н., докторант кафедри електронних приладів Національного університету “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна.

БОЙКО ОКСАНА ВАСИЛІВНА – к.т.н., доцент кафедри медичної інформатики Львівського національного медичного університету ім. Д.Галицького.

ВІСЬТАК МАРІЯ ВОЛОДИМИРІВНА – к.ф.-м.н., доцент кафедри біофізики Львівського національного медичного університету ім. Д.Галицького, м. Львів, Україна.

ЧАБАН ОСТАП ВОЛОДИМИРОВИЧ – аспірант кафедри електронних приладів Національного університету “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна.

ПРИСТАЙ ТАРАС ВІТАЛІЙОВИЧ – аспірант кафедри електронних приладів Національного університету “Львівська політехніка”, м. Львів, Україна.

ВИДАТНІ ВЧЕНІ СУЧАСНОСТІ ЗА НАПРЯМКОМ «ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННІ ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ»



**3 февраля 2014 года исполняется 90 лет со дня рождения
известного ученого и педагога, участника Великой Отечественной войны,
заслуженного деятеля науки и техники, лауреата Государственной премии
Украины, лауреата премии Ленинского комсомола, стипендиата Президента
Украины, директора НИИ «Компьютерных технологий и компьютерных
систем», вице-президента Академии наук прикладной радиоэлектроники,
президента и академика Винницкой Малой академии наук,
профессора кафедры «Компьютерных систем управления»,
бессменного члена редакционной коллегии журнала «Оптико-електронні
інформаційно-енергетичні технології» доктора технических наук,
профессора Ивана Васильевича Кузьмина**

И. В. Кузьмин родился 3 февраля 1924 года в Сибири, в селе Угуй Усть-Тарского района Новосибирской области, в русской рабочей семье. С шести лет пошел учиться во 2-й класс начальной сельской школы.

В 1942 году добровольно пошел в Красную Армию, рвался на фронт, на который попал только в 1944 году.

В Серпуховском военно-авиационном училище служил инструктором практического обучения, экстерном сдал экзамены за среднюю школу.

В 1956 году с отличием закончил Военно-воздушную инженерную академию им. профессора Н.Е. Жуковского, а в 1959 году – адъюнктуру академии и защитил кандидатскую диссертацию. В 1959 году был назначен старшим преподавателем в Харьковское военно-авиационное училище, которое через год стало ракетным.

В 1961 году был направлен на должность старшего научного сотрудника в конструкторское бюро С.П. Королева консультантом по автоматизации стартов ракет и космических аппаратов. Участвовал практически во всех разработках под руководством главного конструктора С. П. Королева. С его участием были созданы автоматизированные старты ракет РК-98, РК-Н1 и других космических аппаратов.

В 1964 году защитил докторскую диссертацию и был назначен начальником кафедры «Системы подготовки и пуска ракет» Харьковского ракетного училища им. маршала Н. И. Крылова. Продолжал консультировать по автоматизации все ракетные КБ Москвы, Днепропетровска, Харькова и других городов. С 1965 года стал профессором, а затем заведующим кафедрой и проректором по науке Харьковского института радиоэлектроники.

В Советской Армии Иван Васильевич прослужил 30 лет, прошел путь от рядового до инженер-полковника. В 1971 году ушел в запас по болезни и полностью посвятил себя подготовке научных и инженерных кадров для народного хозяйства, а также научным исследованиям.

В 1976 году состоялось назначение И. В. Кузьмина ректором Винницкого политехнического института, созданного в 1975 году на базе филиала КПИ. За тринадцать лет его руководства институтом количество студентов увеличилось в 2 раза и достигло около 7 тысяч. Было построено 7 учебных корпусов, 5 общежитий, 5 жилых домов, СКТБ, спортивно-оздоровительный лагерь, профилакторий, столовая, реконструирован стадион общим объемом больше, чем на 30 млн. рублей. Оборудование новых и старых помещений было выполнено на самом современном и первоклассном уровне; были созданы кандидатский и докторский ученые советы. Были решены все задачи научного, методического, издательского, кадрового и других видов обеспечения функционирования вуза на самом высоком уровне.

В 65 лет по собственному желанию ушел с должности ректора, в соответствии с положением о цензе возраста ректора, не больше 65 лет. До 73 лет руководил кафедрой АСУ, а затем передал ее молодому профессору Ротштейну А. П. и стал профессором той же кафедры. В 1999 году назначен директором НИИ «Компьютерных технологий и компьютерных систем».

И. В. Кузьмин активно участвовал в общественной работе: три раза избирался депутатом облсовета и членом горкома КПУ. С 1977 года является Президентом и академиком ВМАН, которую сам организовал; 10 лет работал председателем областного правления общества «Знание»; 15 лет был заместителем председателя по науке Совета содействия развитию Винниччины; был руководителем Харьковского, затем Винницкого совета по кибернетике и членом бюро этого совета Украины и СССР; он — член редколлегии 4-х научных журналов; вице-президент и академик, руководитель Подольского отделения Международной академии наук прикладной радиоэлектроники;

В научной школе И. В. Кузьмина подготовлено более 40 докторов наук (около 20-ти из них стали академиками), более 100 кандидатов наук. Профессором Кузьминым опубликовано более 600 научных работ, из них 33 книги (11 учебников и учебных пособий, остальные — монографии), около 100 изобретений, более 400 научных статей, получено 4 патента на изобретения.

Основные научно-практические результаты И. В. Кузьмина:
разработка и производство генератора шума в сантиметровом диапазоне частот; разработка и строительство исследовательской АЦВМ первичной обработки информации, получаемой с радиолокационного обнаружения и наведения самолетов; исследование методов и средств первичной обработки информации, получаемой в РЛС (селекция по амплитуде, длительности и периоду, методов накопления и обработки мажоритарной логикой); исследование ошибок обнаружения, распознавания целей, определение координат целей с выделением носителей ядерного вооружения; разработка методов оценки эффективности, качества и оптимальности работы методов и средств, разработка рекомендаций по их применению в радиолокационной, космической и авиационной технике; разработка теории и критериев оценки эффективности, качества и оптимальности, а также теории анализа и синтеза сложных радиоэлектронных систем; разработка теории анализа и синтеза структур телемеханических оптимальных систем; внедрение этих теорий при построении автоматов обработки информации в РЛС, автоматов управления дальностью полета ракет и самолетов; разработка оптимальных структур общегосударственной системы управления на региональном уровне; разработка и внедрение лазерных систем обнаружения и наведение космических аппаратов и систем коррекции координат движения атомомобилей под водой; разработка автоматизированных систем причаливания большегрузных судов и атомомобилей к пристани и др.

Исследования и опытно-конструкторские работы велись на созданных им 5-ти кафедрах, в 4-х проблемных лабораториях и в специальном конструкторском бюро СКТБ «Модуль», а также на других кафедрах и факультетах университета, в общей сложности при внедрении был получен миллиардный экономический эффект.

Иван Васильевич награжден 25-ю правительственными наградами, в том числе орденом Трудового Красного Знамени, орденом Дружбы народов, медалями «За боевые заслуги», «За трудовую доблесть» и др.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Вимоги до тематики і структури статей

Тематика

Журнал публікує статті, які містять нові теоретичні та практичні результати в галузях технічних, природничих та гуманітарних наук. Публікуються також огляди сучасного стану розробки важливих наукових проблем, огляди наукових та методичних конференцій, матеріали з педагогіки вищої освіти.

В журналі є такі розділи:

- Принципові концепції та структурування різних рівнів освіти з оптико-електронних інформаційно-енергетичних технологій;
- Методи та системи оптико-електронної і цифрової обробки зображень та сигналів.
- Системи технічного зору і штучного інтелекту з обробкою та розпізнаванням зображень;
- Оптична і квантова електроніка в комп'ютерних та інтелектуальних технологіях;
- Біомедичні оптико-електронні системи та прилади;
- Оптико-електронні пристрої та компоненти в лазерних і енергетичних технологіях;
- Оптичні та оптико-електронні сенсори і перетворювачі в системах керування та екологічного моніторингу;
- Волоконно-оптичні технології в інформаційних (Internet, Intranet тощо) та енергетичних мережах;
- Системи та пристрої відображення інформації;
- Оптико-електронні енергозберігаючі технології.
- Альтернативні наукові ідеї та гіпотези.

Структура статті

1. Стаття має починатись із короткої (до 4 рядків) **анотації** українською, російською та англійською мовами, яка має містити стисло і точно сформульовану постановку задачі та основні результати. Далі вказується **перелік** (до 10) **ключових слів** (або словосполучень) статті;

2. Далі необхідно подати **вступ**, написаний у формі, доступній для розуміння широкого кола спеціалістів даної галузі науки. У вступі наводяться:

- постановка питання, що розглядається в статті;
- короткі відомості про історію цього питання;
- пояснення щодо того, де і коли це питання виникає в процесі розв'язання певної задачі.

3. В **основному тексті** статті викладаються і ґрунтовно роз'яснюються отримані твердження і результати. Необхідні для глибшого розуміння змісту статті матеріали (математичні доведення та перетворення, результати експериментальних досліджень, що підтверджують теоретичні положення тощо) виносяться в додаток.

Не слід переважувати статтю надмірною кількістю формул, дублюванням одних й тих самих результатів у формулах, таблицях та графіках. Бажано уникати довгих назв таблиць, застосовувати використані в рукописі позначення та скорочення. Вживані в статті позначення і маловідомі терміни необхідно пояснити.

4. Заклучна частина має містити приклад (якщо це можливо), який ілюструє ефективність отриманих результатів, та висновки, що відображають нові відомості, отримані автором (авторами), та рекомендації щодо їх практичного застосування. **Висновки та рекомендації** повинні в повній мірі відповідати змісту основного тексту.

Статтю можна розбивати на розділи з назвами та відповідною нумерацією, які відображають їх зміст. Вступ та висновки не нумеруються.

Обсяг статті (у відповідності до вимог журнального варіанту оформлення статей):

- оглядово-узагальнюючого характеру – до 16 сторінок формату А4;
- проблемного характеру – до 11 сторінок формату А4;
- про розв'язання конкретної наукової задачі – до 7 сторінок формату А4;
- у вигляді короткого повідомлення про досягнутий результат – до 3 сторінок формату А4.

Рукописи статей, що перевищують зазначені обсяги редакцією до розгляду не приймаються, за винятком тих, що узгоджені та схвалені колективним рішенням редакційної колегії журналу.

5. В кінці статті наводиться коротка **довідка про авторів**, де вказуються прізвище та ініціали авторів, вчена ступінь, наукове звання, посада, назва підрозділу (кафедри) та організації, її місцезнаходження (місто, країна).

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАННЯ СТАТЕЙ

Для публікації статті автори мають підготувати два екземпляри статті: перший – у редакторському варіанті – для рецензування та редакторської роботи, а другий – в журнальному варіанті для прискорення підготовки до друку.

В редакцію необхідно подати:

- якісно роздруковані обидва варіанти оформленої статті (по одному примірнику – редакторський та журнальний варіанти);
 - файл журнального варіанту статті (на компакт-диску, flash-накопичувачі або по e-mail);
 - супровідні документи (рецензія, акт експертизи, розширені реферати 3-ма мовами, авт. довідка).
- Кожний рукопис має бути ретельно перевірений і підписаний всіма авторами. Подальші виправлення та доповнення не допускаються.

Вимоги до оформлення рукопису статті:

Журнальний варіант оформлення статті:

Стаття повинна бути підготована українською, російською або англійською мовою.

1. Для підготовки статті застосовувати текстовий редактор MS WORD *for* WINDOWS, використавши шрифт Times New Roman (Сур), 10 пт. Стаття повинна бути надрукована на одній стороні аркушів формату А4 (поля: зліва і справа – 2,5 см, зверху – 3 см, знизу – 2,5 см) з інтервалом між рядками – мінімум (min) для 12 pt. Всі сторінки статті мають бути пронумеровані – олівцем на звороті кожної сторінки по центру вказується порядковий номер сторінки та прізвища авторів.

2. У верхньому лівому кутку статті потрібно вказати індекс **УДК** або відповідний індекс міжнародного кодування (10 пт, великими літерами, вирівняти по лівому краю). Пропустивши один рядок друкується **прізвище та ініціали авторів** (10 пт, великими, напівжирними літерами, вирівняти по лівому краю). Пропустивши один рядок – **назва статті** – 14 пт, великими напівжирними літерами, вирівняти по лівому краю. Пропустивши один рядок – **назва організації**, з нового рядка – її **місцезнаходження** (адреса, місто, країна), та по можливості, **контактні координати** (телефони, факс, e-mail, WWW – site) організації або особисті контактні координати кожного з авторів (10 пт, курсивними, напівжирними літерами, вирівняти по лівому краю). Далі, пропустивши один рядок, подаються **анотації** (на українській, англійській та російській мовах) та, з нового рядка, перелік **ключових слів** (8 пт, вирівняти по правому краю). Далі пропустивши один рядок слідує **основний текст статті** (10 пт, вирівнювання – по всій ширині сторінки).

3. У статті мають застосовуватись одиниці Міжнародної системи (СИ).

4. **Формули** та позначення набираються у внутрішньому редакторі формул MS WORD. Кожна формула набирається як один об'єкт: full: Times New Roman 12 pt.

Потрібно дотримуватися відмінності в написанні великих та малих літер, особливо таких, як С і с, К і к, Р і р, U і u, V і v, W і w. Дробові числа слід писати через кому, наприклад: 3,14159265.

5. Варіанти подачі **ілюстрацій**:

- включеними (без OLE–зв'язку) у текст статті, після першого посилання на нього.

Примітка: Використовувати для створення ілюстрацій включений в MS WORD *for* WINDOWS графічний редактор не допускається; або

- у вигляді файлів в форматі TIFF, JPG, GIF кожна окремим файлом та роздруковані у 2-х примірниках; **або**

- у вигляді рисунків, виконаних чорною тушшю або пастою за допомогою креслярського приладдя в двох примірниках, кожна на окремому аркуші формату А4; **або**

- фотографіями (2 примірника), що мають бути якісними, чіткими і контрастними. На зворотному боці кожної ілюстрації (фотографії) простим олівцем вказуються її порядковий номер та прізвище авторів.

Якщо ілюстрації не включені в текст, то підписи до них повинні бути надруковані на одному окремому аркуші формату А4.

6. Кожна **таблиця** повинна бути надрукована з відповідним заголовком та нумерацією, якщо їх більше ніж одна.

Ілюстрації та таблиці в залежності від розміру розміщувати у рамках або по всій ширині сторінки.

7. Перелік **літературних джерел** оформлюється згідно ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 і подається загальним списком у кінці статті. Список складається за чергою посилань у тексті (а не за абеткою).

У тексті статті посилання на літературу ставляться в квадратні дужки (наприклад, [1,2]). Посилання на ще не опубліковані праці не допускаються.

Приклади бібліографічних посилань:

1. Воеводин В.В. Параллельные вычисления : учебн. пособие [для студ. высш. учебн. зав.] / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с. – ISBN 5-94157-160-7.
 2. Паралельно-ієрархічне перетворення як системна модель оптико-електронних засобів штучного інтелекту : [Монографія.] / В.П. Кожем'яко, Ю.Ф. Кутаєв, С.В. Свечніков, Л.І. Тимченко, А.А. Яровий. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. – 324 с. – ISBN 966-641-072-9.
 3. Апаратна реалізація паралельно-ієрархічної мережі на основі DSP / Кожем'яко В.П., Тимченко Л.І., Яровий А.А., Ремезюк С. : збірник тез доповідей третьої міжнародної науково-технічної конференції [Оптоелектронні інформаційні технології “Фотоніка ОДС–2005”], Вінниця, 27-28 квітня 2005р. – Вінниця: „УНІВЕРСУМ-Вінниця”, 2005. – С. 43.
 4. Иерархическая обработка изображений и пирамидальные системы / Воробьев К.Ю., Тимонькин Г.Н., Харченко В.С., Мельников В.А. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1991. – №7. – С.51- 61.
8. Після переліку літературних джерел, пропустивши один рядок, вказується коротка довідка про авторів, де вказуються окремо для кожного з авторів: прізвище та ініціали, вчена ступінь, наукове звання, посада, назва підрозділу (кафедри) та організації, місто, країна.

Редакторський варіант оформлення статті:

Оформлюється з дотриманням таких вимог:

- Поля: зверху – 3 см, решта – 2,5 см, шрифт Times New Roman (Суг), через півтора інтервали між рядками;
- Індекс УДК або відповідний індекс міжнародного кодування – великі літери, 14 пт, вирівняти по лівому краю;
- Прізвище та ініціали авторів – великі літери, 14 пт, вирівняти по лівому краю;
- Назва статті – великі літери, 14 пт, вирівняти по лівому краю;
- назва організації, її координати для кожного з авторів – 14 пт, курсивними, напівжирними літерами, вирівняти по лівому краю;
- Анотації та перелік ключових слів – 10 пт, вирівняти по правому краю;
- Основний текст – 14 пт, вирівнювання – по всій ширині сторінки;
- Формули: full – Times New Roman 14 pt.

В редакторському варіанті статті виконують розмітку формул та позначень за такими правилами: великі літери підкреслюються простим олівцем двома рисками знизу (S), малі – зверху (^S), символи кирилиці (укр., рос.) – підкреслені так само, але використовуючи синій колір. Векторні величини позначаються прямою дужкою знизу (C). Індеси та показники степеня

повинні бути вписані чітко нижче і вище тих символів, яких вони стосуються; індеси позначаються дужкою $\cap$, показники степені – дужкою $\cup$. Літери грецького алфавіту повинні бути обведені червоним.

Формули, на які є посилання в тексті, позначають праворуч від формули порядковими номерами в круглих дужках.

Приклад розмітки формул:

$$\bar{h}(\bar{t}) = \frac{P_0}{A_m} \sin(\omega \bar{t} + \psi) + \bar{h}^{\cup}$$

Примітка: в разі якісного роздрукування статті розмітку формул робити не обов'язково.

- Ілюстрації та таблиці, в залежності від розміру, розміщувати у рамках або по всій ширині сторінки. Решта вимог такі ж, як і до журнального варіанту оформлення.

Супровідні документи:

Разом із роздрукованими двома екземплярами статті подаються:

1. Внутрішня рецензія (підписується доктором технічних наук – фахівцем в даній галузі досліджень) на статтю організації, від якої подається дана стаття;
2. Розширений реферат, що містить стисло і точно сформульовану постановку задачі та основні результати. Реферат подається обов'язково трьома мовами – українською, російською та англійською (надрукованих на одному аркуші) у двох примірниках. Реферат слід починати з індексу УДК або

відповідного індексу міжнародного кодування, назви статті, далі – текст реферату. Обсяг реферату – 0.5-1 сторінки кожною мовою.

Обов’язковим є подання тексту рефератів (окремими файлами) на оптичних носіях (CD/DVD).

3. Авторська довідка (два примірники) від колективу авторів статті, де повинно бути зазначено, що матеріали статті є оригінальними і можуть бути опубліковані у відкритому друці.

4. Рекомендацію до опублікування матеріалів від організації, де проводились дослідження.

5. Довідка про авторів (прізвище, ім’я, по батькові (повністю), науковий ступінь, вчене звання, посаду та повну назву установи, де виконувались дослідження, номери телефонів та e-mail для зв’язку) та фото кожного з авторів (в чорно-білому варіанті, у форматі JPG). Також дана інформація про авторів подається в кінці самих матеріалів статті.

До відома авторів:

- Якщо стаття оформлена з порушенням зазначених вище вимог та правил, то редакція журналу після попереднього розгляду може відмовити автору в публікації.
- Всі статті публікуються за наявності позитивної зовнішньої рецензії. На зовнішнє рецензування статті направляються редколегією журналу.
- Зміст статті та якість перекладу (українською, російською або англійською мовами) переглядаються редакторами-коректорами журналу, проте повну відповідальність за зміст статті та якість перекладу несуть автори статті.
- До статті можуть бути внесені зміни редакційного характеру без згоди автора.
- Гонорар авторам не виплачується.
- Остаточний висновок щодо публікації схвалює редакційна колегія журналу.

Рукописи статей надсилати:

- на поштову адресу редакції:
Україна, 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе 95, ВНТУ, Кафедра ЛОТ
із позначкою: Міжнародний науково-технічний журнал “Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології”, **або**
- на адресу e-mail: **oeipt@ukr.net**
із позначкою: Міжнародний науково-технічний журнал “Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології”.

Консультації з приводу оформлення статей можна отримати в редакції міжнародного науково-технічного журналу “Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології”, Вінницький національний технічний університет, кафедра лазерної та оптоелектронної техніки, к. 2156, 2162а або за тел.: +38 (0432) 59-80-19, 59-84-92 , 59-84-50 або по e-mail: **oeipt@ukr.net**

INFORMATION FOR CONTRIBUTORS

Requirement regarding the structure and subjects of publications

Subjects of publications

The journal is intended for publication containing new theoretical and practical results in the area of engineering and natural science, as well as publications devoted problems dealing with teaching of engineering sciences.

The journals publishes the articles in the area of:

- Principal concepts and structural approaches to the three-level system of specialist training: "Bachelor-Engineer-Master" in the specialization of "Optoelectronic Information-Energy Technologies";
- Optoelectronic/Digital Methods and Systems for Image/Signal Processing;
- Systems of Technical Vision and Artificial Intelligence, Image Processing and Pattern Recognition;
- Optical and Quantum Electronics in Computer and Intelligent Technologies;
- Biomedical Optoelectronic Systems and Apparatus;
- Optoelectronic Devices and Components in Laser and Energy Technologies;
- Optical and Optoelectronic Sensors and Transformers for Systems of Control and Ecology Monitoring;
- Fiber-Optical Technologies for Information (Internet, Intranet etc.) and Energy Networks;
- Systems and Devices for Information Representation;
- Optoelectronic Technologies for Energy Saving.
- Alternative scientific ideas and hypotheses.

The structure of the article:

1. The article should contain short abstract (up to 200 words) presented in English. The abstract must contain briefly formulated problem and main results. Keywords: their amount must not exceed 10 words.
2. Introduction, written in the form comprehensible for the readership of this given branch of science.
The introduction contains:
 - The problem being discussed in the article;
 - Historic outlook of the problem;
 - Explanations regarding when and where this problem arises in the process given problem solution.
3. The article considers and explains the results obtained materials needed for deeper understanding of the article (mathematical transformations, results of experiments, proving theoretical argumentation) are supplied in the appendix. It is not recommended to overweight the article with numerous formulas presenting the same results in formulas, tables, graphs. It is advisable to avoid long titles of the tables, use notations and abbreviations already applied in the manuscript. Specific notation and terms must be explained.
4. The conclusion of the article must contain the example (if it is possible) that illustrates the efficiency of the results obtained and conclusion reflecting new information, obtained by the author (authors) and recommendations recording their practical application. Conclusions and recommendations should correspond the content of publication. The article can be divided into chapters. The title of the chapter should correspond to its content.

Volume of the publications:

- The article of general character – up to 16 pages (A4 format);
 - The article of problematic character – up to 11 pages (A4 format);
 - The article regarding specific scientific problem – up to 7 pages (A4 format);
 - The short communications – up to 3 pages (A4 format).
5. Brief information about the authors is placed at the end of the article. The following information is indicated last name, initials, scientific degree, name of affiliated institution (address, city, country) and contact information of each authors (address, city, country, phone/fax, e-mail).

EDITORIAL BOARD ADDRESS: 95, Khmelnytske shose, Vinnytsya, 21021, Ukraine
Vinnytsya National Technical University, Editorial Board of International Scientific Journal
"Optoelectronic information—power technologies"

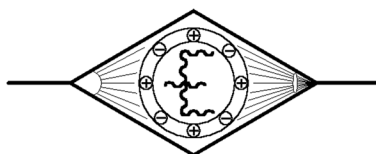
Tel. +38 (0432) 59-80-19; 59-84-92, 59-84-50 Fax: +38 (0432) 46-57-72

E-mail: oeipt@ukr.net <http://oeipt.vntu.edu.ua/>

Vinnytsia National Technical University

Ministry of Education and Science of Ukraine
Academy of Engineering Sciences of Ukraine
V.Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NASU
Uzhgorod National University
Georgia Technical University
Lublin Technical University
The International Societies for Optical Engineering – SPIE, OSA

International Scientific Journal



Optoelectronic Information-Power Technologies

Subscription index 91673

Registered by State Committee on Information Policy, Television and Broadcasting of Ukraine.
Registration certificate – KB № 15295–3867P of 22.06.2009.

Recommended for publication by the decision of Scientific Counsel of VNTU,
protocol №5 of 12.12.2013

Published since 2001

The biannual publication

EDITORIAL BOARD ADDRESS:
Ukraine, 21021, Vinnytsia,
95, Khmel'nitske Shosse

Tel.: +38 (0432) 59-80-19, 59-84-92, 59-84-50
Fax: +38 (0432) 46-57-72
E-mail: oeipt@ukr.net
<http://oeipt.vntu.edu.ua/>

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL

“OPTOELECTRONIC INFORMATION-POWER TECHNOLOGIES”

EDITORIAL BOARDS

EDITOR-IN-CHIEF:

Kozhemyako V.P. Vinnytsia National Technical University, Ukraine

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

Gotra Z.Yu. National University “Lvivska Politehnika”, Ukraine

Natroshevili O.G. Georgia Technical University, Tbilisi, Georgia

Osadchuk V.S. Vinnytsia National Technical University, Ukraine

Vlasyuk A.I. Vinnytsia National Technical University, Ukraine

EDITORIAL BOARD MEMBERS:

Azarov O.D.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Aliiev Alekper Ali Aga ogly
Baku state university, Azerbaijan
Bobitskii Yu.V.
National University "Lvivska Politehnika", Ukraine
Brill G.E.
Saratov State Medical University, Saratov, Russia
Bun R.A.
State Scientific-Research Institute of Information Infrastructure,
Lviv, Ukraine
Contarino V. Michael
Naval Air Systems Command, Research and Engineering Group, USA
Dubovoy V.M.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Gerardo Iovane
Università degli Studi di Salerno, Italy
Grabko V.V.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Graur A.
University “Stefan cel Mare”, Suceava, Romania
Grytsyk V.V.
State Scientific-Research Institute of Information Infrastructure,
Lviv, Ukraine
Kvetnuj R.N.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Korobov A.M.
President of “Laser i Zdorovia” Corporation, Ukraine
Kovalenko V.S.
Scientific Research Institute of Laser Engineering and
Technologies, Kyiv National Technical University KPI, Ukraine
Kychak V.M.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Kulchin Yu.N.
Far Eastern State Technical University, Vladivostok, Russia
Kutaev Yu. F.
State Scientific Enterprise “Astrophysica”, Moscow, Russia
Kuzmin I.V.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Lepih Ya.I.
Mechnikov Odesa National University, Ukraine
Lezhniuk P.D.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Luzhetsky V.A.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Martunyk T.B.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Medikovskiy N.O.
National University "Lvivska Politehnika", Ukraine
Mokin B.I.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Mokin V.B.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Moroz V.M.
Vinnytsia National Pirogov Memorial Medical University, Ukraine
Muravsky L.I.
Karpenko Physic-Mechanical Institute, Lviv, Ukraine
Nikolaichuk Ya. M.
Ternopil academy of National economy, Ukraine

EXECUTIVE SECRETARIES:

Lysenko G.L. Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Malinovsky V.I. Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Kozhemiako A.V. Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Kostyukovich S.O. V.Lashkaryov Institute of Semiconductor
Physics of NASU, Kyiv, Ukraine

Oleksenko P.F.
V.Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NASU,
Kyiv, Ukraine
Osadchuk O.V.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Osinsky V.I.
State Enterprises Scientific-Research Institute of Microdevices,
Kyiv, Ukraine
Pavlov S.V.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Pereira J.
Polytechnic Institute of Setúbal, Setúbal, Portugal
Petruk V.G.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Prangishvili A. I.
Georgia State University, Tbilisi, Georgia
Rassohin I.T.
NPC OEP “OPTEL”, Moscow, Russia
Romanuk O.N.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Rusyn B.P.
Karpenko Physic-Mechanical Institute, Lviv, Ukraine
Sachenko A.O.
Institute of Computer Information Technologies
of Ternopil Academy of national economy, Ukraine
Saldan J. P.
Vinnytsia National Medical University, Ukraine
Shevchuk V.I.
Ukrainian Scientific-Research Institute of Medico-Social
Problems of Disablement, Vinnytsia, Ukraine
Sidorov O.S.
UN-sponsored International Academy of Informatization,
Moscow, Russia
Svechnikov S.V.
V.Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NASU,
Kyiv, Ukraine
Studenik I.P.
Uzhgorod National University, Ukraine
Stolyarchyuk P. G.
National University "Lvivska Politehnika", Ukraine
Timchenko L.I.
Kyiv University of Economy and Transport Technologies
Tymchyk G.S.
Kyiv National Technical University KPI, Ukraine
Vassilenko V.B.
New university of Lisbon, Lisbon, Portugal
Vintsyuk T.K.
International Scientific-Educational Centre of UNESCO
of informational technologies and systems, Kyiv, Ukraine
Volodarsky Ye. T.
Kyiv National Technical University KPI, Ukraine
Wojcik V.
Lublin Technical University, Poland
Zakhos E.
National Technical University, Athens, Greece
Zlepko S.M.
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

TECHNICAL SECRETARIES:

Malinovsky V.I., Kozhemiako A.V.,
Yarovyy A.A., Shtelmakh O.O.

EDITORS CORRECTORS:

Pradivlyanii M.G., Veremienko S.Ya.

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології

№2(26), 2013

Передплатний індекс 91673

Зареєстрований Державним комітетом інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України. Свідоцтво про реєстрацію – КВ № 15295–3867Р від 22.06.2009 р.

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради ВНТУ, протокол № 5 від 12.12.2013 р.

Редактори-коректори: Веремієнко С.Я., Прадівляний М.Г.
Технічні редактори: Маліновський В.І., Кожем'яко А.В., Яровий А.А., Штельмах О.О.

Підписано до друку 21.12.2013. Формат 29,7 × 42 ½ . Гарнітура Times New Roman.
Папір офсетний. Друк різнографічний. Умовн. друк. арк. 16,63
Тираж 100 прим. Зам № 2014-002
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Україна, 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 93, ВНТУ, ГНК, кімната 114
Тел.: +380 (432) 598159

© Вінницький національний технічний університет, оформлення, верстка, 2013

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:
Україна, 21021, м. Вінниця,
вул. Хмельницьке шосе, 95.

Тел.: +380 (432) 59-80-19, 59-84-92, 59-84-50
Факс: +380 (432) 46-57-72
<http://oeipt.vntu.edu.ua/>
E-mail: oeipt@ukr.net
