

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**  
за матеріалами XI Всеукраїнської науково-практичної конференції  
**«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ:**  
**ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»**

18 грудня 2025 року



**Полтава 2025**

**УДК 004.89 + 681.51**

Збірник наукових праць за матеріалами XI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика», 18 грудня, 2025 р. / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Редколегія: О.В. Шефер (головний редактор) та ін. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2025. – 159 с.

У збірнику представлені результати наукових досліджень та розробок в області сучасних електромеханічних систем та автоматизації, електричних машини і апаратів, моделювання та методів оптимізації, енергозбереження в електромеханічних системах, управління складними технічними системами, проблем аварійності та діагностики в електромеханічних системах та електричних машинах, інформаційно-комунікаційних технологіях та засобах управління. Призначений для наукових й інженерно-технічних працівників, аспірантів і магістрів.

Матеріали відтворено з авторських оригіналів та рекомендовано до друку XI Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика». Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор О.В. Шефер.

**Редакційна колегія:**

О.В. Шефер – головний редактор, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Р.В. Захарченко – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Б.Р. Боряк – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

## ЗМІСТ

<i>М.Г. Бабич, С.Л. Городецький</i> АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ІНВАЛІДНІСТЮ .....	10
<i>І.І. Бадула, Ю.Г. Дяченко</i> ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ НАФТОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ SCADA/HMI ZENON .....	13
<i>А.Ю. Батраченко, Г.В. Головка</i> ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ КРИПТОГРАФІЧНИХ ШИФРІВ ІЗ ШИФРОМ AES.....	16
<i>Д.В. Бублій, А.В. Трет'як</i> АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ІНДИВІДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ВУЗЛА ДЛЯ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ .....	19
<i>Станіслав Васюхно</i> ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ У ЗАДАЧАХ ПІСЛЯВАРІЙНОГО АНАЛІЗУ .....	22
<i>В.М. Галай, А.О. Журавель</i> РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЮ УСТАНОВКОЮ.....	24
<i>В.М. Галай, В.О. Коломієць</i> ПРОЄКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВІДСТЕЖЕННЯ СОНЦЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК .....	26
<i>В.М. Галай, О.Ю. Павлій</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД МАЙНІНГ-ФЕРМ У ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	29

<i>В.М. Галай, Д.В. Федончук</i>	РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОЮ ЛІНІЄЮ .....	32
<i>В.В. Гордієнко, С.Г. Кислиця</i>	СПОСОБИ УПРАВЛІННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ДОЗУВАННЯ.....	34
<i>Є.І. Демченко, О.Є. Петренко</i>	ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У КОРПОРАТИВНИХ WI-FI МЕРЕЖАХ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ АНАЛІТИЧНОЇ ІЄРАРХІЇ.....	37
<i>О.Г. Дрючко, Р.В. Захарченко, М.Ю. Першин, В.В. Жданов, В.Ю. Аницупов</i>	ТЕХНОЛОГІЯ МРРТ В ІНВЕРТОРАХ: ПРИНЦИП РОБОТИ.....	40
<i>О.Г. Дрючко, С.Г. Кислиця, В.М. Галай, К.К. Брижак, О.О. Куденко</i>	ДИСТАНЦІЙНЕ УПРАВЛІННЯ КІНЕМАТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЕЛЬТА-РОБОТА У ПОТОКОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ .....	43
<i>О.Г. Дрючко, Т.Ю. Мірошніченко</i>	ВРАХУВАННЯ СПЕЦИФІКИ ПЕРЕДУМОВ НА ЕТАПІ РОЗРОБЛЕННЯ ЛОКАЛЬНОЇ ДИСТАНЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ УПРАВЛІННЯ У ФІЗИЧНОМУ ЕКСПЕРИМЕНТІ.....	46
<i>Ю.Г. Дяченко, Ж.В. Деркунська</i>	НАВІГАЦІЙНО-КЕРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ СТОВБУРА ПОХИЛО-СКЕРОВАНИХ ТА ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН.....	49
<i>Є. Живило</i>	АДАПТИВНА СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ HNN-МОДЕЛЕЙ.....	52

*Н.В. Земський,  
М.В. Сторожук,  
Т. Г. Фесенко*

УПРАВЛІННЯ ІТ ПРОЄКТАМИ В ЕПОХУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ:  
НОВІ ІНСТРУМЕНТИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТНИХ ДІЙ ... 54

*Ю.В. Іванко,  
С.Л. Городецький*

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ КІНЦЕВИХ ТОЧОК  
В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ..... 56

*Ю.В. Калашнікова*

МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО КРИПТОГРАФІЧНОГО УПРАВЛІННЯ  
ДОСТУПОМ У МУЛЬТИДОМЕННИХ СИСТЕМАХ..... 59

*Svitlana Kyslytsia,  
Festus Frederik Sashekvoiami,  
Maksym Zviahol'skyi*

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ACS OF SOLAR CELLS TRACKING  
THE SUN USING STEPPER MOTORS AND SOLAR POSITION SENSORS  
..... 62

*С. Г. Кислиця,  
Д. В. Вертій*

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ  
МІКРОКЛІМАТОМ ..... 65

*С. Г. Кислиця,  
Д. В. Вертій*

ВПЛИВ ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА АВТОНОМНУ  
ФОТОЕЛЕКТРИЧНУ УСТАНОВКУ ..... 68

*С.Г. Кислиця,  
М.В. Мажара,  
Я.Д. Юрченко,  
В.М. Амелюкіна*

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
ОСВІТЛЕННЯМ..... 71

*О.В. Корнійчук,  
Н.В. Єрмілова*

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ  
ПЕРЕМІЩЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ФУРМИ У СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМУ  
ВИРОБНИЦТВІ..... 74

<i>В.В. Крицький, Р.С. Штигун</i>	ТЕЛЕМЕХАНІКА МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВІДІВ У КОНТЕКСТІ ЦИФРОВІЗАЦІЇ НАФТОГАЗОВОЇ ГАЛУЗІ.....	77
<i>А.Я. Кучеров, Р.В. Захарченко, А.І. Криворот</i>	ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ТРЕКЕРІВ У ПОРІВНЯННІ ЗІ СТАЦІОНАРНИМИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СИСТЕМАМИ.....	80
<i>Ю.В. Кучма</i>	ПОСТКВАНТОВА АВТЕНТИФІКАЦІЯ У ФЕДЕРАЦІЯХ ІДЕНТИЧНОСТЕЙ З АДАПТИВНИМИ ПОЛІТИКАМИ БЕЗПЕКИ .....	82
<i>Л.І. Леві, О.Ю. Білоус</i>	ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ .....	85
<i>Д.С. Лісняк, О.Є. Петренко</i>	ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ФІНАНСОВИХ СИСТЕМ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ .....	88
<i>С.В. Мигаль</i>	ІНТЕЛЕКТУАЛЬНО КЕРОВАНІ МЕРЕЖІ РАДІОДОСТУПУ 6G НА ОСНОВІ SDN ТА ГЕТЕРОГЕННИХ АРХІТЕКТУР.....	91
<i>І.П. Плюйко</i>	КОМБІНОВАНІ ДЕТЕРМІНОВАНІ ТА АДАПТИВНІ МОДЕЛІ РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГІЇ У ВИСОКОШВИДКІСНИХ ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ.....	94
<i>Є.С. Проскурня, Н.В. Єрмілова</i>	АНАЛІЗ МЕТОДІВ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ДЛЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ УСТАНОВКИ БРИКЕТУВАННЯ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ .....	96
<i>Є.В. Самбур, С.Г. Кислиця</i>	СУШІННЯ ЗЕРНА МЕТОДОМ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВАННЯ.....	99
<i>С.В. Соловійов, С.Г. Кислиця</i>	ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НА СОНЯЧНИХ БАТАРЕЯХ .....	102

<i>А. О. Сузима,</i> <i>С. Г. Кислиця,</i> СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕПЛИЦІ .....	105
<i>І.І. Тараненко,</i> <i>Г.В. Головка,</i> ZERO TRUST ДЛЯ МАЛОГО ТА СЕРЕДНЬОГО ПІДПРИЄМСТВА .....	108
<i>Т.А. Ткаченко,</i> <i>Т.Г. Фесенко</i> МАТРИЦЯ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ В УПРАВЛІННІ ІТ ПРОЄКТАМИ: ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАПАЗОНУ МОДЕЛЕЙ ТА СПЕЦІФІКИ ЗАСТОСУВАННЯ.....	110
<i>А.С. Торбенко,</i> <i>С. Г. Кислиця</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСІВ ВОДООБІГУ НА ЦУКРОВОМУ ЗАВОДІ .....	113
<i>Т.М. Фесенко</i> МАТЕМАТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ БАГАТОРІВНЕВОГО ЗАХИСТУ АВТЕНТИФІКАЦІЙНИХ КЛЮЧІВ .....	116
<i>О.С. Фомін</i> ШИРОКОСМУГОВИЙ ВИМІРЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ .....	119
<i>О.С. Фомін</i> РОЗПІЗНАВАННЯ БПЛА ЗА СПЕКТРАМИ РАДІОСИГНАЛІВ.....	122
<i>О.В. Шефер,</i> <i>О.Г. Дрючко,</i> <i>О.В. Сухоребрій,</i> <i>Р.В. Решетник</i> ВАЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ І НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ .....	125
<i>О.В. Шефер,</i> <i>В.А. Гайдук</i> ПРИНЦИПИ АЛГОРИТМІЧНОГО ТА СИЛОВОГО УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КАР'ЄРНОГО ЕКСКАВАТОРА .....	128

<i>O. Shefer,</i> <i>B. Holovchansky</i>	ENHANCING EFFICIENCY OF SATELLITE TELEMETRY CHANNELS IN RAILWAY MONITORING APPLICATIONS.....	131
<i>О.В. Шефер,</i> <i>О.О. Куц</i>	АДАПТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СЕРВІСІВ .	134
<i>О.В. Шефер,</i> <i>Д.Р. Олексієнко</i>	АДАПТИВНІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ПОВЕДІНКОВОГО АНАЛІЗУ .....	136
<i>О.В. Шефер,</i> <i>Д.В. Рибка</i>	АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ТЕПЛООВОГО НАСОСА З АВТОНОМНИМ ЖИВЛЕННЯМ.....	138
<i>О.В. Шефер,</i> <i>П.О. Яценко</i>	ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ МЕТОДИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПОКЛАДІВ .	141
<i>О.В. Шефер,</i> <i>В.С. Ястреба</i>	ЧАСТОТНО-ЧАСОВІ ТА АДАПТИВНІ МЕТОДИ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ У БАГАТОКАНАЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ.....	144
<i>О.В. Шефер,</i> <i>О.С. Ястреба</i>	АДАПТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ ЗА УМОВ ДІЇ ВИПАДКОВИХ ЗБУРЕНЬ .....	147
<i>О.В. Шефер,</i> <i>Я.В. Шептун</i>	АДАПТИВНО-СТОХАСТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ .....	150
<i>М.О. Шокодько,</i> <i>С.Г. Кислиця</i>	ВИБІР І ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧОЇ УСТАНОВКИ ДВОКООРДИНАТНОГО ТРАНСПОРТНОГО МОДУЛЯ	153

*Д.В. Щербінін,*

*Н.В. Єрмілова*

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧЕ УПРАВЛІННЯ ІНДУКТОРНИМ ДИНАМІЧНИМ  
ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОДВІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ..... 156

**УДК 004.9:004.056.5:613.8**

*М.Г. Бабич, студент,*

*Харківський радіотехнічний фаховий коледж*

*С.Л. Городецький, старший викладач*

*Харківський Національний університет радіоелектроніки*

## **АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ РОЗУМНОГО БУДИНКУ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ІНВАЛІДНІСТЮ**

В роботі досліджується підхід до створення інтелектуальних Smart Home-систем, орієнтованих на підтримку людей з інвалідністю, з урахуванням вимог безпеки, автономності та адаптивності. Об'єктом дослідження є інтелектуальна інфраструктура розумного будинку, що поєднує апаратні засоби, сенсори, алгоритми штучного інтелекту та засоби кіберзахисту [1].

У роботі розглянуто архітектуру системи розумного будинку, принципи взаємодії сенсорних модулів із центральним контролером, методи адаптації функціоналу під індивідуальні потреби користувача, питання кібербезпеки розумного середовища та роль технологій машинного навчання у формуванні персоналізованих сценаріїв керування побутовими процесами.

Архітектура розумного будинку для людей з інвалідністю ґрунтується на інтеграції різноманітних сенсорів, інтелектуальних контролерів, які працюють у єдиному інформаційному середовищі. Центральний модуль управління аналізує дані від сенсорів, акустичних датчиків, камер та інфрачервоних модулів і формує команди для автоматизації життєвих процесів. Для людини, яка має порушення опорно-рухового апарату або сенсорні обмеження, такий підхід є критичним, оскільки дає змогу мінімізувати кількість фізичних дій і забезпечує незалежність у побуті. Завдяки використанню технологій машинного навчання система здатна адаптуватися до індивідуальних потреб користувача, аналізувати його щоденні звички та прогнозувати необхідні сценарії взаємодії.

Інтелектуальні системи голосового керування значно розширюють можливості людей, які не можуть самостійно використовувати фізичні перемикачі або сенсорні екрани. Такі сервіси, як Google Assistant, Amazon Alexa чи Microsoft Cortana, інтегруються з домашніми IoT-пристроями через протоколи MQTT, Zigbee, Z-Wave або Wi-Fi, утворюючи єдину екосистему управління. Користувач може запускати сценарії, змінювати налаштування освітлення, керувати замками, вмикати побутову техніку або отримувати звіти про стан будинку виключно за допомогою голосових команд. Поєднання голосових асистентів з модулями NLP (Natural Language Processing) забезпечує розпізнавання мови та коректне виконання команд у складних акустичних умовах.

Ключовим елементом безпеки розумного будинку є системи відеоспостереження з використанням комп'ютерного зору. Інтелектуальні камери можуть автоматично розпізнавати падіння користувача, тривале перебування в нерухомому стані, сторонніх осіб або загрозові події, такі як дим чи витік газу. Прогностичні моделі на основі алгоритмів Deep Learning аналізують поведінкові патерни і виявляють відхилення, що дозволяє своєчасно ініціювати сповіщення рідним, соціальним службам чи екстреним службам. Це особливо важливо для людей з порушеннями рухливості, слуху або зору, які можуть не помітити небезпеку або не мати змоги оперативно відреагувати.

Технології автоматизації управління мікрокліматом забезпечують підтримку оптимального температурного режиму, вологості та якості повітря. Такі функції є важливими не лише для комфорту, але і для здоров'я, особливо для людей із різними захворюваннями. Інтеграція даних систем з хмарними сервісами дозволяє здійснювати моніторинг у режимі реального часу та отримувати рекомендації, засновані на аналізі великих масивів даних.

Особливу увагу в розумних будинках приділяють елементам інклюзивного дизайну, де кожен компонент адаптується під фізичні можливості людини. Автоматичні розсувні двері, інтелектуальні ліжка та системи навігації для людей з порушеннями зору формують безпечний та комфортний життєвий простір. Поєднання таких пристроїв з алгоритмами штучного інтелекту дозволяє не тільки асистувати користувачу, але й прогнозувати його потреби.

При розробці системи розумного будинку ключовим завданням є побудова надійного захисту від кіберзагроз [2]. Оскільки пристрої постійно обмінюються даними через мережу, необхідно застосовувати криптографічні протоколи, забезпечення цілісності даних, автентифікацію користувачів, сегментацію мережі та моніторинг аномальної активності [3]. Інженери-комп'ютерники використовують технології EDR, IDS/IPS, Zero Trust та апаратні криптомодулі для запобігання несанкціонованому доступу, що є критичним, адже загроза кібератаки може поставити під загрозу життя людини.

Проведений аналіз дозволив сформувавши комплексний підхід до розроблення адаптивної архітектури Smart Home, орієнтованої на потреби людей з інвалідністю. Запропонована модель враховує специфічні фізичні обмеження користувачів, підсилює безпекові механізми з урахуванням потенційних загроз життю та здоров'ю, а також інтегрує технології машинного навчання для персоналізації, прогнозування потреб і формування індивідуальних побутових сценаріїв. Такий підхід забезпечує поєднання автономності, гнучкості та високого рівня захисту, створюючи інтелектуальне середовище, здатне адаптуватися до реальних умов і поведінки людини з інвалідністю.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Тимченко, О.В., Демченко В.О. "Архітектура та застосування технології розумного дому."
2. Д'якова, Н.Є., Сєверінов О.В. Аналіз загроз безпеки у системах розумного будинку. ВА ЗС АР; НТУ" ХП"; НАУ, ДП" ПДПРОНДІАВІАПРОМ"; УмЖ, 2021.
3. Євген'єв, А., Сидоренко, З., Сєверінов, О. (2025). Забезпечення цілісності даних у системах промислового інтернету речей на основі використання завадостійких кодів. *Радіотехніка*, (221), 46–50.

### ARCHITECTURE OF A SMART HOME SYSTEM FOR PEOPLE WITH DISABILITIES

*M. Babych, student,*

*Kharkiv Radio Engineering Professional College*

*S. Horodetskyi, Senior Lecturer,*

*Kharkiv National University of Radio Electronics*

**УДК 622.276:004.8:006.35**

*І.І. Бадула, директор коледжу, викладач спеціальних дисциплін,*

*Ю.Г. Дяченко, викладачка спеціальних дисциплін*

*Полтавський фаховий коледж нафти і газу*

*Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія*

*Кондратюка»*

## **ЦИФРОВІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ НАФТОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ SCADA/HMI ZENON**

Сучасний розвиток нафтогазової промисловості неможливий без впровадження цифрових технологій та високоефективних систем автоматизації. Однією з ключових платформ для вирішення завдань моніторингу, управління та оптимізації технологічних процесів у нафтогазовидобувних компаніях є SCADA/HMI система zenon, розроблена австрійською компанією.

Дана система забезпечує інтеграцію операційного керування обладнанням, збору даних і аналітики на єдиній платформі, що дозволяє інтелектуалізувати процеси видобутку нафти, газу та газового конденсату, а також оптимізувати роботу підземного обладнання, компресорних станцій, насосних агрегатів та об'єктів підготовки продукції. Система дозволяє створювати комплексні рішення для автоматизації будь-яких об'єктів – від локальних виробничих ділянок до великих розподілених технологічних комплексів, інтегруючи в одному середовищі управління виробництвом, моніторинг, збір даних, диспетчерський контроль та планування ресурсів підприємства.

SCADA zenon забезпечує повну сумісність з існуючою інфраструктурою нафтогазових об'єктів, включно з технологічними контролерами (PLC), промисловими датчиками та системами керування насосами і відвідними станціями. За допомогою модулів zenon Logic та zenon Analyzer реалізується програмна логіка керування процесами, включно з Soft-PLC, що дозволяє автоматизувати складні виробничі операції, моніторинг тиску та температури в підземних свердловинах, контроль за технологічними лініями підготовки нафти та газу, а також прогнозування продуктивності видобувних агрегатів.

Інтеграція web-технологій у zenon (HTML Web Engine, підтримка HTML5) дозволяє отримувати дані та керувати виробничими процесами віддалено на будь-яких пристроях, що забезпечує оперативний контроль за роботою об'єктів в умовах розподілених нафтогазових родовищ та інфраструктурних вузлів, включно з компресорними станціями магістральних газопроводів, нафтоперекачувальними станціями та технологічними вузлами підготовки продукції.

Система підтримує інтеграцію з промисловими протоколами IEC 61850, IEC 60870, DNP3, що дає змогу ефективно підключати підстанції електропостачання на об'єктах нафтовидобутку і газопереробки, забезпечуючи надійність живлення та контроль технологічних параметрів у реальному часі. Розширені функції модулів Message Control та Notifier App дозволяють відслідковувати аварійні ситуації, зміни технологічних параметрів у режимі реального часу, що підвищує безпеку та знижує ризики зупинки виробництва.

Особлива увага приділена кібербезпеці, що є критичною для нафтогазових підприємств. SCADA zenon підтримує розширене управління користувачами, що включає до 65000 рівнів прав доступу для конкретного обладнання, відповідно до серії міжнародних стандартів з кібербезпеки автоматизації IEC 62443-4-2.

Це дозволяє забезпечити безпечний доступ до системи для операторів, інженерів та віддалених аналітиків, захищаючи інформацію про технологічні процеси видобутку та транспортування нафти і газу.

Впровадження SCADA/HMI-системи zenon на нафтогазових об'єктах в Україні, зокрема на підприємствах міжнародних і приватних нафтогазових компаній JKH Oil & Gas plc, Smart Energy, Geo Alliance Group, ENI та ДТЕК Нафтогаз, уже продемонструвало високу ефективність експлуатації та керування технологічними процесами. Крім того, системи працюють у схемах електропостачання об'єктів промисловості та енергетики ДТЕК або Укренерго, зокрема на опорних точках ліній електропередач (наприклад, ПС-110 кВ Ювілейна, Дружківка, Іверська), Новотроїцькій ВЕС, Ботієвській ВЕС, в підсистемах водоочистки Рівненської АЕС та інших об'єктах регіональної інфраструктури, таких як Полтавське обласне комунальне виробниче підприємство теплового господарства «Полтаватеплоенерго», де впроваджуються засоби телемеханіки та SCADA-системи для диспетчерського керування. Завдяки можливості віддаленого моніторингу та управління, централізованому збору даних та аналітики, zenon дозволяє підвищити ефективність роботи обладнання, знизити простої і витрати на обслуговування, а також оптимізувати енергоспоживання на підприємствах.

Отже, SCADA-системи zenon є потужним і гнучким інструментом для побудови сучасних автоматизованих систем управління та збору даних. Завдяки відкритій архітектурі, широким можливостям інтеграції, підтримці сучасних стандартів промислової автоматизації, кібербезпеки та роботи з web- і мобільними платформами, zenon сприяє цифровій трансформації підприємств. Впровадження SCADA/HMI zenon у нафтогазовій промисловості дозволяє: централізовано контролювати та автоматизувати процеси видобутку, підготовки та транспортування нафти і газу; забезпечувати високий рівень безпеки та кіберзахисту; підвищувати ефективність роботи обладнання та зменшувати витрати енергоресурсів; а

також інтегрувати всі рівні управління від датчиків і контролерів до ERP-систем у єдину цифрову платформу.

Система zenon демонструє високий потенціал для реалізації концепції Industry 4.0 на нафтогазових об'єктах, забезпечуючи прозорість, контроль та ефективну взаємодію всіх компонентів технологічних процесів.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1 <https://www.copa-data.com.ua/proekty/scada-zenon-na-sluzhbi-v-naftogazovij-galuzi> [Електронний ресурс]

2 [https://www.copa-data.com.ua/files/brochures/cat\\_zenon\\_2018\\_web.pdf](https://www.copa-data.com.ua/files/brochures/cat_zenon_2018_web.pdf) [Електронний ресурс]

#### **DIGITIZATION AND AUTOMATION OF OIL AND GAS TECHNOLOGICAL PROCESSES USING SCADA/HMI ZENON**

*I. Badula, director of the college, teacher of special disciplines,*

*Yu. Dyachenko, teacher of special disciplines*

*Poltava Professional College of Oil and Gas*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

**УДК 621.745**

*А.Ю. Батраченко, магістрант,*

*Г.В. Головка, к.т.н., доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ КРИПТОГРАФІЧНИХ ШИФРІВ ІЗ ШИФРОМ AES**

Проблема збереження та безпеки даних виникла значно раніше, ніж були створені перші комп'ютери. Проте розвиток інформаційних технологій суттєво змінив підходи до організації захисту. Саме тому конфіденційність інформації — її збереження від сторонніх очей — була головним пріоритетом перших систем захисту. Найефективнішим способом убезпечити дані від перехоплення чи розголошення традиційно вважалося їхнє повне шифрування. Сьогодні ж ключовим викликом у цій сфері є захист інформації, що передається та зберігається у комп'ютерних мережах.

Активне впровадження комп'ютерів у всі сфери життя, зростання їхніх можливостей та широке використання мереж різного рівня зробили ризик витоку конфіденційних даних постійним фактором будь-якої діяльності. Теоретично ідеально захищений комп'ютер — це пристрій, що зберігається у заблокованому сейфі, не під'єднаний до жодної мережі та навіть вимкнений. Така машина практично недосяжна для злоумисників, але водночас абсолютно непридатна для використання. Цей приклад наочно демонструє, що абсолютний захист неможливий через необхідність доступу до даних, а також через складність самих систем безпеки.

Серед численних методів шифрування, що застосовуються сьогодні для захисту інформації, особливе місце займає алгоритм AES (Advanced Encryption Standard). Вже понад два десятиліття залишається одним із найнадійніших засобів захисту даних у світі. Його популярність пояснюється поєднанням високого рівня безпеки, ефективності та універсальності застосування.

Однією з головних переваг AES є використання симетричного ключа — одного й того самого для шифрування та розшифрування, що забезпечує високу швидкість обробки даних навіть на пристроях із невеликою обчислювальною потужністю. Алгоритм підтримує кілька довжин ключа — 128, 192 та 256 біт — що дозволяє обирати оптимальний рівень захисту залежно від вимог системи.

Крім того, AES відзначається високою стійкістю до сучасних методів криптоаналізу. Його структура побудована на багатоетапних перетвореннях даних, включно з підстановками, перестановками та змішуваннями, що робить відновлення вихідного повідомлення без знання ключа практично неможливим. Саме завдяки такій архітектурі AES широко використовується

в найрізноманітніших сферах — від захисту банківських транзакцій і персональних даних до шифрування урядової та військової інформації.

Алгоритм реалізується на апаратному та програмному рівнях, легко інтегрується в сучасні протоколи безпеки та здатний працювати з великими обсягами даних у реальному часі. Поєднання продуктивності, гнучкості та надійності зробило AES фактичним стандартом де-факто у сфері захисту інформації.

Щоб повною мірою оцінити переваги AES, варто порівняти його з іншими відомими алгоритмами шифрування, які застосовуються у сфері захисту інформації. Серед них найбільш поширеними є DES, 3DES та RSA, кожен із яких має власні особливості та обмеження.

DES (Data Encryption Standard) — один із перших загальноприйнятих стандартів шифрування, який активно використовувався з 1970-х років. Проте на сучасному етапі він вважається застарілим через надто короткий ключ довжиною 56 біт. Такий розмір ключа робить DES вразливим до атак перебором, які сьогодні можуть бути здійснені навіть із використанням відносно доступних обчислювальних ресурсів.

3DES (Triple DES) був створений як тимчасове рішення для підвищення безпеки оригінального DES шляхом триразового застосування шифрування з різними ключами. Хоча це значно підвищило криптостійкість, 3DES має суттєвий недолік — низьку продуктивність.

Інший підхід до шифрування представляє RSA — алгоритм з відкритим ключем, який базується на складності факторизації великих чисел. RSA широко використовується для захисту обміну ключами та цифрових підписів, однак він не призначений для шифрування великих обсягів даних через значно нижчу швидкість у порівнянні з симетричними алгоритмами.

На відміну від згаданих алгоритмів, AES поєднує високу криптографічну стійкість, ефективність і гнучкість. Він здатен шифрувати великі обсяги даних значно швидше, ніж 3DES або RSA, і при цьому забезпечує набагато вищий рівень безпеки, ніж застарілий DES. Крім того, завдяки підтримці ключів різної довжини AES може масштабуватися залежно від рівня загроз і вимог до продуктивності, що робить його оптимальним вибором як для персональних пристроїв, так і для корпоративних або державних систем.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Alanazi, H. et al. *New Comparative Study Between DES, 3DES and AES Within Nine Factors*. arXiv, 2010.
2. Shevchuk, Y. *Analytical Approach to Evaluating the Effectiveness of Cryptographic Methods in Modern Information Security Systems*. *Futurity Proceedings*, 2023.

3. *Golovko G., Rudenko O., Batrachenko. A., Ryzymenko R, Organization of information protection at the "Drive Petrol" enterprise using a cryptographic algorithm AES.*

**COMPARISON OF MODERN CRYPTOGRAPHIC CIPHERS WITH THE AES CIPHER**

*A. Batrachenko, undergraduate,*

*G. Golovko, Ph.D., Associate professor*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

**УДК 697.3**

*Д.В. Бублій, магістрант,*

*А.В. Трет'як, к.т.н.*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ІНДИВІДУАЛЬНОГО ТЕПЛООВОГО ВУЗЛА ДЛЯ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ**

Енергозбереження та підвищення енергоефективності в Україні має свої особливості. Високий пріоритет енергозбереження протягом довгого часу не супроводжувався ефективними формами та механізмами взаємодії влади, бізнесу і наукового середовища щодо реалізації інноваційних енергозберігаючих технологій. Тому на даний час більшість адміністративних будівель мають застарілу систему опалення, яка не відповідає сучасним вимогам економіки.

У зв'язку з цим останнім часом активізувався пошук способів зменшення витрат на енергію, зокрема, розроблення різноманітних систем автоматики для теплових вузлів цивільних будівель і це важливий крок у підвищенні енергоефективності та модернізації інфраструктури країни в цілому. Старі системи управління теплом призводять до зростання витрат на енергоресурси та зниження ефективності опалення. Впровадження сучасної автоматики дозволяє краще регулювати температуру та тиск теплоносія в залежності від потреб будівлі та погодних умов, що зменшує втрати тепла і забезпечує стабільну температуру в приміщеннях. Оновлення теплового вузла відповідатиме сучасним вимогам енергоефективності та екологічної безпеки, що дозволить знизити споживання енергії та експлуатаційні витрати.

Метою даної роботи є обґрунтування ефективності та доцільності розроблення сучасної автоматизованої системи для підвищення ефективності опалення адміністративної будівлі, з можливістю більш точного контролю температури, зменшення теплових втрат і покращення загальної енергоефективності будівлі в цілому.

Особливу увагу слід приділити інтеграції нових системи з існуючими інженерними мережами будівель, щоб уникнути великих витрат на повну заміну інфраструктури.

Також важливим є забезпечення можливості віддаленого моніторингу та керування тепловим вузлом, що дозволить швидко реагувати на зміни зовнішніх умов та потреб будівель, мінімізувати ризики аварій та забезпечити безперебійну роботу системи опалення.

Крім того, автоматика дає можливість швидко діагностувати несправності та зменшити час на їх усунення. Це стане важливим кроком у

загальній модернізації державної інфраструктури, що спрямовано на покращення енергоефективності та виконання сучасних стандартів сталого розвитку.

Наразі питання енергетики мають особливу важливість для нашої країни, особливо враховуючи збройну агресію з боку росії. Тому розвиток енергозбереження, в тому числі в будівництві, є актуальним і потребує постійного вдосконалення.

Більшість цивільних будівель в містах отримують теплоносій з централізованої системи опалення, тому процеси регулювання та розподілення тепла можна виконувати тільки в рамках конкретної будівлі. Для вирішення цієї задачі може бути використано систему з індивідуальним тепловим вузлом (рис.1).

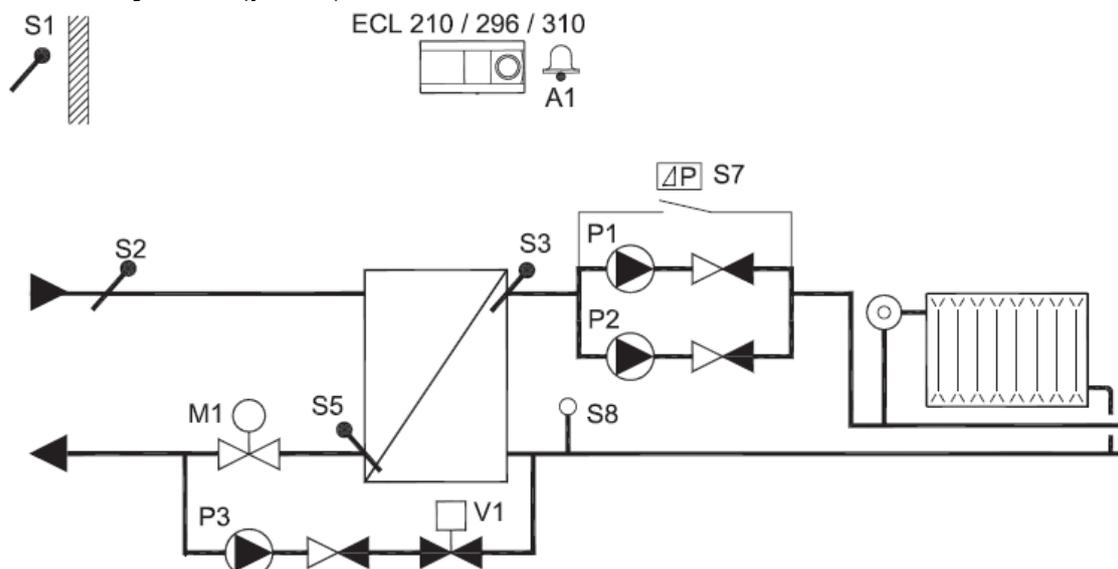


Рисунок 1. Система опалення незалежно приєднана до теплової мережі із контролем роботи двох циркуляційних насосів (основний/резервний) і функцією підживлення

Контроль температури теплоносія, що подається в систему опалення (S8) виконується в залежності від температури подачі в первинному контурі (S2) та температури на вулиці (S1). Регулювання здійснюється моторизованим регулятором (M1). Керування системою може бути виконано за допомогою електронного регулятора, наприклад, ECL Comfort 310.

Подальші дослідження та аналіз можуть допомогти у виборі найефективніших рішень з урахуванням специфіки будівлі, фінансових можливостей та потреб користувача.

Згідно з практичними даними, автоматизовані вузли управління можуть зекономити приблизно 25-37% теплової енергії, забезпечуючи при цьому комфортні умови в кожному приміщенні.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — Вид. 2-ге, виправлене. — К.: Вид. Ліра-К, 2015. — 378с.*
2. *Енергетичний менеджмент та енергоефективність: Підручник / І.О. Самойленко, О.Г. Гриб, А.О. Запорожець та ін. - Харків, 2020. - 348 с.*
3. *Оптимізація систем теплопостачання із використанням економіко-математичного моделювання: монографія / за заг. ред. О. М. Гавриця – Х.: НТУ "ХПІ", 2015. – 209 с.*

### **ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF IMPLEMENTING AN AUTOMATED INDIVIDUAL HEATING UNIT FOR AN ADMINISTRATIVE BUILDING**

*D. Bublîi, master's student,*

*A. Tretyak, Ph.D.*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

УДК 004.932

*Станіслав Васюхно*

*Національний університет оборони України, м. Київ, Україна*

## **ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ У ЗАДАЧАХ ПІСЛЯВАРІЙНОГО АНАЛІЗУ**

Актуальність теми зумовлена зростанням кількості техногенних та природних аварій, ліквідація наслідків яких потребує оперативного отримання, аналізу та інтерпретації візуальної інформації.

У післяаварійних ситуаціях зображення, отримані з безпілотних літальних апаратів, супутникових систем, мобільних роботів і стаціонарних камер спостереження, часто мають низьку якість через зашумленість, спотворення, недостатню освітленість або несприятливі погодні умови [1].

Це ускладнює прийняття рішень та знижує ефективність аварійно-рятувальних робіт.

Метою дослідження є розроблення методів та інформаційної технології переобробки зображень для підвищення їх інформативності та достовірності у системах підтримки прийняття рішень у післяаварійних ситуаціях.

У роботі проаналізовано основні джерела спотворень зображень, характерних для післяаварійних умов, та визначено вимоги до процесів їх переобробки в режимі, наближеному до реального часу [2].

Запропоновано комплекс методів попередньої обробки зображень, що включає адаптивну фільтрацію шумів, корекцію контрасту, вирівнювання гістограм, а також методи підвищення різкості та відновлення втрачених деталей.

Окрему увагу приділено використанню методів машинного навчання та глибоких нейронних мереж для автоматичного виявлення об'єктів [1, 3], пошкоджених зон і потенційно небезпечних ділянок.

Розроблено інформаційну технологію переобробки зображень, яка об'єднує запропоновані методи в єдиний програмний конвеєр і забезпечує модульність, масштабованість та інтеграцію з існуючими інформаційно-аналітичними системами.

Технологія передбачає можливість роботи з різними джерелами зображень і підтримує автоматизований та напівавтоматизований режими обробки.

Експериментальні дослідження показали, що використання запропонованих методів дозволяє підвищити якість зображень за показниками контрастності, співвідношення сигнал/шум та точності розпізнавання об'єктів, що сприяє більш обґрунтованому прийняттю рішень у післяаварійних ситуаціях.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні класичних методів цифрової обробки зображень з інтелектуальними алгоритмами аналізу в рамках єдиної інформаційної технології, орієнтованої на специфічні умови післяаварійних середовищ. Практична значущість полягає у можливості використання розроблених рішень у системах цивільного захисту, аварійно-рятувальних службах та моніторингових комплексах.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Могильний О. Автоматизовані моделі обробки візуальної інформації // Системні технології. – 2023. – № 09. – 147–156.
2. Munir A., Siddiqui A. J., Anwar S., El-Maleh A., Khan A. H., Rehman A. Impact of Adverse Weather and Image Distortions on Vision-Based UAV Detection: A Performance Evaluation of Deep Learning Models // Drones. – 2024. – Vol. 8, No. 11:638.
3. Jonnalagadda A. V., Hashim A. SegNet: A Segmented Deep Learning based Convolutional Neural Network Approach for Drones Wildfire Detection [Electronic resource]. – 2024. – arXiv:2405.00031.

#### USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR INTELLIGENT VISUALIZATION OF IMAGES IN POST-ARREST ANALYSIS TASKS

*Stanislav Vasiukhno*

*National Defense University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**УДК 621.316.7**

*В.М. Галай, к.т.н., доцент,*

*А.О. Журавель, магістрант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЮ УСТАНОВКОЮ**

Якість асфальтобетонної суміші значною мірою визначається температурою кам'яних матеріалів у момент їх змішування з бітумом і мінеральним порошком. Відхилення температури від нормативних значень призводить до порушення умов змочування зерен бітумом, зниження міцності та довговічності дорожнього покриття, а також до перевитрати енергетичних ресурсів. Відповідно до вимог ДСТУ, температура кам'яних матеріалів на виході сушильного барабана повинна підтримуватися в заданих межах залежно від типу асфальтобетонної суміші та кліматичних умов.

У традиційних асфальтозмішувальних установках регулювання температури кам'яних матеріалів здійснюється переважно вручну оператором шляхом зміни подачі палива та повітря в пальниковий пристрій сушильного барабана. Такий підхід має істотні недоліки, оскільки температура матеріалу залежить не лише від теплової потужності пальника, але й від вологості вихідних матеріалів, їх гранулометричного складу та продуктивності подачі. У результаті оператор змушений одночасно контролювати велику кількість параметрів, що підвищує імовірність помилок і знижує стабільність технологічного процесу.

Одним із найбільш ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є автоматизація процесу стабілізації температури кам'яних матеріалів за рахунок регулювання кількості матеріалу, що подається в сушильний барабан. Фізична сутність такого підходу полягає в тому, що при сталому тепловому потоці з боку пальника температура матеріалу визначається співвідношенням між підведеною теплотою та масовою витратою кам'яних матеріалів. Таким чином, зменшення або збільшення продуктивності подачі матеріалу безпосередньо впливає на його кінцеву температуру.

Для реалізації зазначеного принципу доцільно застосовувати частотно-регульований електропривод конвеєрів подачі кам'яних матеріалів. Використання перетворювача частоти в поєднанні з асинхронним електродвигуном дозволяє плавно змінювати швидкість руху конвеєрної стрічки в необхідному діапазоні без значних динамічних навантажень на механічні елементи. Це забезпечує можливість точного дозування матеріалу та стабілізації температури на виході сушильного барабана.

Структурно система автоматичної стабілізації температури включає датчик температури кам'яних матеріалів, встановлений на виході сушильного барабана, регулятор температури та виконавчий орган у вигляді частотно-керованого електроприводу конвеєрів. Сигнал від датчика температури порівнюється із заданим значенням, після чого формується керуючий вплив на перетворювач частоти. При зниженні температури матеріалу система зменшує швидкість конвеєрів, знижуючи масову витрату, а при перевищенні заданої температури – збільшує її.

Запропонований підхід дозволяє автоматично компенсувати вплив змін вологості та фізико-механічних властивостей кам'яних матеріалів, а також коливань теплової потужності пального пристрою. У результаті досягається підвищення стабільності температурного режиму, зниження ролі людського фактора та покращення якості готової асфальтобетонної суміші.

Стабілізація температури кам'яних матеріалів на виході сушильного барабана є важливим чинником забезпечення якості асфальтобетонних сумішей.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Бабаков В. М. *Автоматизація технологічних процесів у дорожньому будівництві*. – К.: Техніка, 2016.
2. Гриньов О. М., Коваленко В. І. *Електропривод і автоматика промислових установок*. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018.

#### **DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATIC ASPHALT CONCRETE PLANT CONTROL SYSTEM**

*V. Galai, Ph.D., associate professor,*

*A. Zhuravel, graduate student*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

**УДК 621.34**

*В.М. Галай, к.т.н, доцент,*

*В.О. Коломієць, магістрант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ПРОЄКТУВАННЯ ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ВІДСТЕЖЕННЯ СОНЦЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК**

На тлі посилення кліматичних змін та виснаження запасів викопного палива, сонячна енергетика визнана одним із найбільш перспективних і екологічно чистих шляхів забезпечення енергетичної незалежності. Україна, прагне збільшити частку відновлювальних джерел енергії у загальному балансі енергії. Основним завданням є, зниження собівартості електроенергії, виробленої фотоелектричними установками. Системи відстеження сонця (далі трекери) прямо впливають на даний показник, забезпечуючи суттєвий приріст генерації до 20-45%, порівняно зі стандартними системами. Це скорочує термін окупності інвестування у сонячні електростанції.

Існуючі на даний момент комерційні трекери часто є дорогими або складними у обслуговуванні. Є нагальна потреба в розробці оптимізованих, надійних і економічно доступних рішень, які б ефективно працювали в умовах конкретної географічної широти та змінної погоди. Не треба забувати, що даний процес вимагає точного математичного моделювання взаємодії руху сонця, механіки трекера та електричних характеристик панелі. Це дозволяє ще на етапі розробки мінімізувати втрати потужності та підвищити загальний ККД системи. Розробка власного проєкту системи трекінгу дозволить адаптувати її до місцевих інженерних стандартів та зменшити залежність від імпорتنих технологією, що є важливим для енергетичної безпеки країни.

Головна мета полягає у підвищенні річного енерговиробітку окремо взятої фотоелектричної установки шляхом розробки, математичного моделювання та порівняльного аналізу ефективності оптимізованої двохосової системи відстеження сонця, адаптованої для конкретних географічних умов. Для досягнення результатів довелося провести огляд літературних джерел, патентів та існуючих комерційних рішень для класифікації та порівняння різних архітектур трекерів (одноосові, двоосові) та їхніх приводів. Проаналізувати та вибрати найбільш актуальні методи керування (астрономічний алгоритм, сенсорне керування, гібридні підходи) для забезпечення максимальної точності та енергоефективності. Визначити оптимальні конструктивні матеріали та схему приводу, що відповідають вимогам надійності та мінімальної вартості. Важливо

сформулювати точну астрономічну математичну модель руху сонця – розрахунок зенітного та азимутального кутів з урахуванням місцевих географічних координат та часових поправок, розробити динамічну модель механічної частини трекера для оцінки необхідної потужності двигунів та стабільності конструкції. Створити електричну модель фотоелектричного модуля та трекерної системи для розрахунку виробітку енергії.

Аналіз двовісної системи трекінгу показує, що це найбільш ефективне, але й найскладніше технічне рішення для сонячної енергетики. Система дозволяє панелі завжди бути перпендикулярною до сонячних променів, враховуючи як добовий рух сонця, так і сезонну зміну висоти. Приріст генерації сонячної електроенергії припадає на 40% порівняно зі стаціонарними установками.

Що стосується комплектуючих, в даному проекті окрім фоторезисторів, які забезпечують точне наведення сонячних панелей, також використовуються інклінометр – забезпечуючи зворотний зв'язок, щоб система точно знала кут нахилу установки, уникаючи механічних помилок.

Якщо ж пройтись по перевагам та недолікам, то до переваг відноситься: максимально можливий ККД панелі, стабільний графік видачі енергії протягом дня та можливість автоматичного переходу в горизонтальний режим при сильному вітрі. До недоліків слід віднести високу ціну та довгий період окупності, наявність рухомих частин, що потребують обслуговування, споживання енергії двигунами.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. *Kurbatova T., Spivakovskyy S., Sotnyk M. and Hyrchenko Y. «Solar Energy Advancement in Ukraine's Households: is the Feed-In Tariff Economically Justified?», 2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2021. 145-165*
2. *Slabinoha M. O., Kuchirka Y. M., Krinitsky O. S., Yourkiv N. M. «Modeluvanna zalezhnosti zminypotuzhnosti sonachnih paneley vid kuta padinna promeniv», 2018.*
3. *Golovan M. M., Zdolbitska N. V., Lishchina V. O., Grinuk S. V. «Analiz productivnosti systemy avtomatichnoho posicionuvanna sonachnih paneley», 2020.*
4. *Xing C., Xi X., He X. and Liu M. «Research on the MPPT Control Simulation of Wind and Photovoltaic Complementary Power Generation System», 2020 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC), 2020.*
5. *Anuradha A., Yadav S. and Sinha S. «Solar-Wind Based Hybrid Energy System: Modeling and Simulation», 2021 4th International Conference on Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE), 2021.*

**DESIGN AND MODELING OF A SUN TRACKING SYSTEM TO  
INCREASE THE EFFICIENCY OF PHOTOELECTRIC  
INSTALLATIONS**

*V. Galay, candidate of technical sciences,*

*V. Kolomiets, undergraduate*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 62.5**

*В.М. Галай, к.т.н., доцент,*

*О.Ю. Павлій, магістрант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ ТЕПЛОВОЇ  
ЕНЕРГІЇ ВІД МАЙНІНГ-ФЕРМ У ЛОКАЛЬНИХ СИСТЕМАХ  
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

Сучасні високопродуктивні обчислювальні комплекси, що використовуються для криптовалютного майнінгу, характеризуються значною електроспоживчою потужністю, яка майже повністю перетворюється у теплову енергію. Це тепло, за відсутності спеціалізованих систем рекуперації, традиційно розсіюється у довкілля. З огляду на зростання вартості енергоресурсів, посилення вимог до енергоефективності та актуальність низьковуглецевих рішень у житловому секторі, використання теплової енергії майнінг-ферм для опалення житлових приміщень набуває стратегічної важливості.

Аналіз показує, що обсяги тепловиділення типових майнінг-установок достатні для часткового або навіть повного забезпечення теплового навантаження житлових кімнат, технічних приміщень та малих приватних будівель. Разом із тим інтеграція такого теплового джерела у локальні системи опалення супроводжується низкою технологічних труднощів. Основною проблемою є нестационарний характер тепловиділення, оскільки інтенсивність роботи майнерів залежить від алгоритмів хешування, умов охолодження та управління живленням. Це зумовлює коливання температури відпрацьованого повітря та ускладнює підтримання нормативного мікроклімату у житлових приміщеннях.

Ще одним критичним аспектом є низька ефективність ручного регулювання потоків теплового повітря. За умов різких змін теплової потужності майнінг-ферми оператор фізично не може забезпечити своєчасне перенаштування системи вентиляції та розподілу тепла. Отже, для інтеграції таких нетрадиційних джерел тепла саме у житлові будівлі необхідне використання автоматизованих та адаптивних систем керування, здатних забезпечити стабільність температурного режиму та комфортні умови проживання.

У рамках роботи розроблено два програмних рішення для автоматизації процесу рекуперації тепла: однозонну та багатозонну системи керування подачею нагрітого повітря. Однозонний алгоритм застосовний для невеликих житлових або технічних приміщень та реалізує регулювання з урахуванням гістерезисної характеристики температури. Багатозонна система, що включає три незалежні канали керування, призначена для

об'єктів складнішої конфігурації — приватних будинків або квартир з декількома кімнатами, де теплові потреби окремих зон можуть істотно відрізнятися.

Для кожної зони встановлено індивідуальні температурні датчики зі струмовим інтерфейсом 4–20 мА, що забезпечує підвищену точність вимірювань та стійкість до перешкод. Виконавчими механізмами є вентилятори подачі тепла та сервоприводи повітряних заслонок, що дає змогу реалізувати динамічний перерозподіл повітряних потоків. Розроблені алгоритми оптимізації визначають пріоритет подачі тепла на основі оцінки температурного відхилення від уставок, що особливо важливо у житлових приміщеннях, де комфорт є критичним параметром.

У процесі дослідження виконано моделювання роботи системи, розроблено структурні схеми, а також створено інтерфейс для сенсорної панелі оператора з можливістю моніторингу та налаштування параметрів у реальному часі.

Результати експериментальних випробувань продемонстрували, що застосування автоматизованої системи рекуперації тепла від майнінг-ферми дозволяє: зменшити нерівномірність розподілу температури по приміщеннях на 18–24 %; підвищити корисний коефіцієнт використання тепла до 65–75 %; забезпечити стабільний та безпечний температурний режим житлових кімнат навіть за значних коливань теплової потужності майнінг-обладнання.

Отримані результати підтверджують реальну можливість використання майнінг-ферм як ефективних джерел вторинного тепла для систем опалення приватних будинків та малих комерційних об'єктів.

Розроблене програмно-технічне рішення демонструє високу практичну цінність та може слугувати основою для побудови масштабованих систем рекуперації тепла, здатних суттєво знизити енергоспоживання будівель і підвищити їхню автономність. Це відкриває перспективи подальшого розвитку наукових досліджень у галузі використання теплових відходів обчислювальних комплексів для потреб житлового сектору.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. *CODESYS – The IEC 61131-3 Automation Software. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.codesys.com>*
2. *Aqtech. Програмовані логічні контролери серії 150. Технічна документація виробника. [Електронний ресурс – Режим доступу: <https://aqteck.ua>*
3. *Теплотехнічні властивості електронного обладнання та методи відведення тепла: монографія / За ред. П. І. Кравченка. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 214 с.*

4. *Modern Approaches to Heat Recovery in Distributed Systems / J. Lawson*  
*// Energy Engineering Journal. – 2021. – №4. – С. 55–63.*

**RESEARCH AND AUTOMATION OF THERMAL ENERGY  
DISTRIBUTION FROM MINING FARMS IN LOCAL HEAT SUPPLY  
SYSTEMS**

*V. Galai, Ph.D., associate professor,*

*O. Pavliy, master's student*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 621.78**

*В.М. Галай, к.т.н., доцент,*

*Д.В. Федончук, магістрант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОЮ ЛІНІЄЮ**

Зростання точності термічної обробки, стабільності параметрів нагріву та повторюваності технологічних режимів зумовлює необхідність переходу до автоматизованих систем управління (АСУ) виробничими процесами.

Метою роботи є створення системи автоматичного керування електротермічною лінією, що включає гартівну піч, відпускну піч, гартівний бак, мийну машину, систему завантаження та допоміжні механізми. Задача АСУ полягає у забезпеченні підтримання стабільних температурних, часових і технологічних режимів, збиранні даних, візуалізації параметрів та оперативному реагуванні на аварійні ситуації. До основних цілей створення системи належать підвищення якості продукції, зниження впливу людського фактору, підвищення надійності обладнання та скорочення часу на діагностику та усунення несправностей. У роботі визначено вимоги до структури АСУ, яка має включати підсистеми керування лінією термообробки, завантаженням, гартівною піччю, гартівним баком, мийною машиною, відпускну піччю, баком охолодження та підсистемою візуалізації (АРМ оператора). Кожна підсистема виконує як локальні функції керування виконавчими механізмами, так і взаємодію з центральним контуром управління. Особливе місце відведено підсистемі збору та контролю значень температур, рівнів технологічних середовищ, що забезпечує повну інформаційну підтримку технологічного процесу. Для реалізації керування вибрано програмований логічний контролер (PLC) SIMATIC S7, який забезпечує необхідну надійність. Програмне забезпечення створено у пакеті Step7 із застосуванням мов ST та SCL. Для організації візуалізації технологічного процесу використано SCADA WinCC 6.0. Обмін даними між АРМ оператора і контролером організовано за протоколом Simatic S7 Protocol Suite. Такий комплекс дозволяє реалізувати повноцінну інтегровану систему керування електротермічною лінією. У технічній частині розроблено алгоритми функціонування основних вузлів лінії: клапанів, конвеєрів, нагрівачів та системи широтно-імпульсної модуляції. Для кожного блоку побудовано моделі з визначенням вхідних і вихідних сигналів, а також графів можливих станів. Проаналізовано алгоритм роботи блоку ШІМ, необхідний для керування силовими ключами нагрівачів печей. Значну увагу в роботі приділено математичному моделюванню теплових процесів у гартівній печі. Побудовано модель

нагрівання, що враховує інерційність об'єкта, динаміку роботи нагрівачів і вплив збурень. Визначено передавальні функції печі, нагрівача, температурного датчика та перетворювача. На основі моделі синтезовано систему автоматичного регулювання температури із застосуванням ПІД-регулятора. Досліджено особливості обмеження струму нагрівачів і розроблено варіанти структур регуляторів з додатковим зворотним зв'язком.

Результати моделювання підтвердили ефективність обраних принципів керування: запропонована САК забезпечує стабільність температур у печах, зменшує перерегулювання і прискорює вихід системи на робочий режим.

У результаті проєктована АСУ електротермічної лінії зменшує вплив людського фактора, підвищує надійність технологічного процесу, забезпечує стабільність температурних режимів і дозволяє своєчасно реагувати на аварійні ситуації. Це сприяє підвищенню якості продукції та оптимізації виробничого процесу термообробки.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Ладанюк А.П. *Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами : навч. посібник.* – К. : Ліра-К, 2016. – 312 с.
2. Dorf R.C., Bishop R.H. *Modern Control Systems.* – 13th ed. – Pearson, 2017. – 1104 p.
3. Siemens AG. *SIMATIC S7 Automation System. System Manual.* – Germany, 2019.

#### **DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATED ELECTROTHERMAL LINE CONTROL SYSTEM**

*V.M. Galai, Ph.D., associate professor,*

*D.V. Fedonchuk, master's student*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

### УДК 631.3

*В.В. Гордієнко, магістрант,*

*С.Г. Кислиця, к.т.н., доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **СПОСОБИ УПРАВЛІННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ДОЗУВАННЯ**

Більшість мобільних сільськогосподарських електрифікованих машин експлуатуються в тривалому (S1) і короткочасному (S2) режимі роботи, значно менше число – в повторно-короткочасному режимі (S3). Інші режими роботи зустрічаються вкрай рідко. Тривалий режим S1 характерний для дробарок, подрібнювачів, основної масі насосів, вентиляторів, центрифуг і компресорів. У короткочасному режимі S2 працюють роздавальники кормів на фермах, навозоприбиральні транспортери, порційні змішувачі кормів, деякі насосні і компресорні установки. Очевидно, що тривалість роботи механізму, що працює в короткочасному режимі, визначається технологічними характеристиками (стандартні  $t_p = 10, 30, 60, 90$  хв). У повторно-короткочасному режимі S3 працюють кранові механізми, вентилятори в системах мікроклімату, насоси систем водопостачання, компресори з ресиверами і ін.

Специфіка електроприводів в сільськогосподарському виробництві визначається різноманітністю навантажувальних характеристик, режимами і умовами роботи (навколишнє середовище, якість електроенергії). Отже, особлива увага повинна приділятися вибору систем електроприводу, з метою забезпечення необхідних режимів роботи, а саме обґрунтування необхідності регулювання кутової швидкості електродвигуна і її діапазону.

Найбільшого поширення набули асинхронні двигуни загального призначення потужністю від 0,75 до 7,5 кВт, які складають більше половини всього парку сільськогосподарських комплексів.

З огляду на вимоги по точності дозування матеріалопотоків, складу сумішей, останнім часом стали активно впроваджуватися системи «перетворювач частоти-асинхронний двигун» (ПЧ-АД) з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Вони забезпечують необхідну точність дозування і надійність системи.

У свою чергу, регулювання швидкості електроприводів з асинхронними двигунами виробляється зміною частоти і величини напруги живлення. Зміна частоти напруги на статорі включає в себе такі способи управління, як скалярне управління швидкістю за допомогою закону  $U/f$ , векторне управління, пряме керування моментом, бездатчикового управління швидкістю. При регулюванні необхідно управляти двома координатами електродвигуна: струмом і швидкістю [1].

Для оптимального управління асинхронним електродвигуном необхідно управляти вектором струму, вектором потокозчеплення і швидкістю. Тоді характеристики електроприводу наближаються до характеристик двигуна постійного струму.

Однак управління вектором потокозчеплення пов'язано зі складністю отримання сигналу зворотного зв'язку по потокозчепленню, так як в серійних двигунах відсутні датчики потокозчеплення. З цієї причини потокозчеплення обчислюється «спостерігачами», які використовують рівняння математичної моделі двигуна. Для управління координатами електроприводу, як правило, використовують методи підпорядкованого регулювання, які дозволяють управляти координатою і виробляти її обмеження.

Сучасні розробки в області нових алгоритмів керування асинхронним електроприводом змінного струму являють собою подальший розвиток і вдосконалення класичного алгоритму і реалізуються на основі загальної теорії автоматичного управління [2]. Наприклад, застосування нейронних мереж і нечіткої логіки дозволило створювати ефективні регулятори [3], які дають можливість ефективно управляти об'єктом регулювання.

Системи з нечіткими регуляторами і нейронними мережами рекомендується використовувати в наступних випадках:

- для управління складними технологічними процесами, коли існують проблеми їх ідентифікувати;
- коли повинна проводитися обробка лінгвістично сформульованих експертних знань [3].

Якщо управління може бути здійснено за допомогою методів класичної теорії автоматичного управління та/або існує формалізована і адекватна математична модель даної системи, застосування нечітких регуляторів і нейронних мереж не рекомендується.

Алгоритм векторного керування не застосуємо для управління шнековими дозаторами так як, в автоматизованому комплексі дозування сипких матеріалів спільний перетворювач частоти управляє декількома шнековими дозаторами.

Для управління приводного двигуна шнекового живильника може бути застосовано скалярне управління, яке дозволить використовувати загальний перетворювач частоти для декількох шнеків-дозаторів і не вимагає складних налаштувань.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Семенцов В.І., Бойко І.Г. Спосіб змішування сипучих матеріалів і обладнання для його реалізації // *Вібрації в техніці та технологіях*. – 2004. – №4. – С.110-111.

2. *Kharchenko S. Modeling the dynamics of the grain mixtures with the screening on cylindrical vibrating sieve separators // ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. 2015. Vol. 15, Issue 3. P. 87–93.*

3. *Shushura O.M. Infological modeling of information systems subject industries in solving of fuzzy control tasks. Зв'язок. 2018. № 2. С. 53–56.*

## **METHODS OF CONTROLLING A FREQUENCY-ADJUSTED ELECTRIC DOSING DRIVE**

*V. Hordiienko, master's student,*

*S. Kyslytsia, PhD (Engineering), Associate professor*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

**УДК 004.8**

*Є.І. Демченко, магістрант,*

*О.Є. Петренко, к.т.н., доцент*

*Харківський національний університет радіоелектроніки*

## **ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У КОРПОРАТИВНИХ WI-FI МЕРЕЖАХ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ АНАЛІТИЧНОЇ ІЄРАРХІЇ**

Корпоративні бездротові мережі сьогодні є невід'ємним елементом критичної інформаційної інфраструктури, від надійності якої залежить стабільність бізнес-процесів. На відміну від традиційних дротових мереж, Wi-Fi – це мережа, для якої характерна відкритість середовища передачі та підвищена вразливість до атак. Через це сучасні системи повинні виявляти аномалії та атаки нульового дня. Традиційні підходи, засновані на правилах або сигнатурному аналізі, не є ефективними через обмежену здатність виявлення атак нульового дня. Натомість методи, що використовують інтелектуальний аналіз даних, дозволяють виявляти нові або невідомі типи атак на основі аномалій. Проте вибір кращого методу залишається складним завданням тому що, різні методи демонструють різну точність, швидкість, стійкість до змін середовища та потребують використання різних обчислювальних ресурсів.

Метою дослідження є вибір оптимального алгоритму виявлення аномалій для захисту корпоративних бездротових мереж шляхом застосування методу аналітичної ієрархії.

В основу дослідження покладено метод аналітичної ієрархії, який дозволяє обрати альтернативу, що задовольняє найвпливовішим критеріям для виявлення найкращого методу. Серед критеріїв відбору в дослідженні запропоновано п'ять критеріїв: точність виявлення, рівень хибних спрацювань, швидкість обробки, стійкість до змін середовища та ефективність використаних ресурсів. Вагові коефіцієнти для цих критеріїв отримано шляхом застосування методу експертних оцінок та методу попарних порівнянь, які дозволили визначити вагові коефіцієнти критеріїв для досягнення мети дослідження. Найвищий пріоритет надано точності виявлення - 0,30 та рівню хибних спрацювань - 0,25, оскільки ці фактори визначають ефективність методу. Стійкість до змін середовища отримала вагу - 0,20, швидкість обробки – 0,15, а ефективність використання ресурсів – 0,10. Для перевірки узгодженості думок експертів та адекватності вибору вагових коефіцієнтів в ході дослідження визначено, що відношення узгодженості не перевищує 0,2. Для вибору найкращого методу, який відповідає найвпливовішим критеріям, було розглянуто чотири популярні методи виявлення аномалій, що представляють різні підходи до моделювання процесів виявлення аномалій, а саме: Isolation Forest, Autoencoder, One-Class SVM та LSTM (RNN) [1,2,3,4]. Алгоритм Isolation

Forest використовує ансамблеву стратегію розподілу вибірки за випадковими деревами та характеризується високою швидкістю. Autoencoder моделює дані через стискання та реконструкцію ознак, що дозволяє виявляти приховані нелінійні залежності. One-Class SVM побудований на теорії опорних векторів і є класичним рішенням для задач класифікації. LSTM-мережа забезпечує найкраще відтворення часових залежностей у трафіку, але потребує значних ресурсів для навчання. Вибір найкращого методу шляхом застосування методу аналітичної ієрархії здійснювався шляхом побудови матриць попарних порівнянь, у яких відносна перевага кожного алгоритму за певним критерієм визначалася на основі експертних оцінок. Для кожного критерію було розраховано нормований вектор локального пріоритету. Так, для критерію “Точність виявлення” отримано наступний нормований вектор пріоритету  $q_1 = (0,22; 0,29; 0,24; 0,25)$ . Для критерію “Рівня хибних спрацювань” нормований вектор пріоритету  $q_2 = (0,25; 0,27; 0,23; 0,25)$ , для критерію “Стійкість до зміни середовища”  $q_3 = (0,54; 0,19; 0,21; 0,06)$ , для критерію “Швидкість обробки” -  $q_4 = (0,18; 0,41; 0,16; 0,25)$ , для критерію “Ефективність використання ресурсів” -  $q_5 = (0,45; 0,18; 0,32; 0,05)$ . Узгодженість думок експертів розраховано на основі коефіцієнта узгодженості та дорівнює відповідно до кожного критерію 0,005, 0,001, 0,001, 0, 0, що свідчить про повну узгодженість думок експертів. Застосовуючи отримані нормовані вектори пріоритету розраховано інтегральний вектор альтернатив  $q = (0,31; 0,297; 0,26; 0,19)$ . Отримані результати показали, що серед розглянутих алгоритмів найвищий інтегральний пріоритет продемонстрував Isolation Forest ( $\approx 0,31$ ), який забезпечує найкращий баланс між точністю, швидкодією та простотою інтеграції у корпоративну інфраструктуру.

Таким чином, результати отримані на основі методу багатокритеріального аналізу свідчать, що метод Isolation Forest є найкращою альтернативою для виявлення аномалій в корпоративних бездротових Wi-Fi мережах, де важливими аспектами є продуктивність та адаптивність. Метод Autoencoder можна розглянути як альтернативу Isolation Forest у випадках, коли пріоритетом є виявлення складних закономірностей.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Asif Ahmed Nelay, Maxime 2. A comprehensive study of auto-encoders for anomaly detection: Efficiency and trade-offs. // Machine Learning with Applications. - 2024. - №17. - С. 32.*

2. *Ji-Min Woo, Seong-Hyeon Ju, Jin-Hyeon Sung, Kyung-Min Seo. Meta-Learning-Based LSTM-Autoencoder for Low-Data Anomaly Detection in*

*Retrofitted CNC Machine Using Multi-Machine Datasets. // Systems. - 2025. - №13(7). - С. 534.*

*3. Application of the Analytic Hierarchy Process for Multi-Criteria Decision Making. MDPI Systems. - 2024. - T. 13, № 7. - С. 534.*

*4. G.Pang, C. Shen, L. Cao, A. Van Den Hengel. Deep Learning Models for Anomaly Detection in Complex Systems. Natur // ACM Comput. Surv. – 2020. - Vol. 1.*

## **ANOMALIES DETECTION IN CORPORATE WI-FI NETWORKS USING THE ANALYTICAL HIERARCHY METHOD**

*Y. Demchenko, undergraduate,*

*O. Petrenko, Ph.D., Associate professor*

*Kharkiv National University Of Radio Electronics*

## УДК 681.5

*О.Г. Дрючко, к. х. н., доцент,*

*Р.В. Захарченко, к. т. н., доцент,*

*М.Ю. Першин, студент,*

*В.В. Жданов, студент,*

*В.Ю. Анищук, студент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

### **ТЕХНОЛОГІЯ МРРТ В ІНВЕРТОРАХ: ПРИНЦИП РОБОТИ**

Відстеження точки максимальної потужності (ВТМП) - спосіб отримання максимально можливої потужності на виході фотомодулів, електричних генераторів вітроустановок, електричних генераторів зі змінною швидкістю обертання і крутним моментом, електродвигунів, що працюють у режимі рекуперативного гальмування [1, 2].

Зазвичай ВТМП здійснюється спеціальними цифровими мікроконтролерами. Ці пристрої безперервно аналізують вольт-амперну характеристику джерела або характерні її точки і, за допомогою зміни струму, що відбирається від джерела, забезпечують відбір від нього максимальної потужності [1, 5].

Такий пристрій конструктивно інтегрується в перетворювач електричної енергії - інвертор, що одночасно є і перетворювачем виду струму або напруги та / або їх величин, здійснює фільтрацію завад і керування різними навантаженнями, у тому числі електричними мережами, акумуляторними батареями або електродвигунами [3, 6].

Найчастіше пристрої ВТМП застосовуються для оптимізації максимуму потужності сонячних фотогальванічних батарей (фотомодулів). Це зумовлено тим, що освітленість фотомодулів протягом доби суттєво змінюється від положення сонця на небосхилі, хмарності, атмосферних опадів, а це призводить до глибоких змін навантажувальної характеристики фотомодулів [1, 2]. Для отримання максимальної потужності, що відбирається, необхідно змінювати струм, що відбирається від фотомодулів, при цьому змінюється напруга на фотобатарей (див. рис. 1) [5].

Пристрої ВТМП якраз і призначені для оптимізації навантаження на фотоприймач за різних умов освітленості, температури, якості фотомодулів, що змінюється згодом від деградації фотогальванічних осередків, забруднення та зниження світлопропускання прозорих зовнішніх захисних покриттів фотопанелей від потемніння з часом [2, 6].

Відомо, що для джерел, вольт-амперна характеристика (ВАХ) яких приблизно лінійна, (наприклад, гальванічних елементів), максимальна потужність, що відбирається, буде при рівності опору навантаження і внутрішнього опору джерела. При цьому напруга на навантаженні буде

дорівнює половині ЕРС джерела, або, що те ж саме, половині напруги холостого ходу.

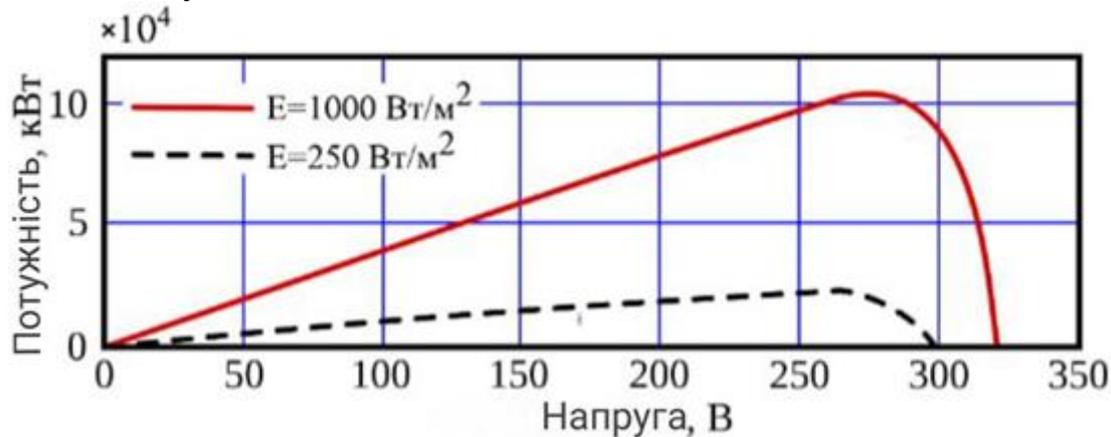


Рис. 1. Залежність потужності сонячної батареї потужної електростанції від її напруги за двох різних інтенсивностей світлового потоку

Для джерел, у яких ВАХ істотно нелінійна, без знання їх ВАХ не можна заздалегідь вказати оптимальний струм для максимізації потужності, що відбирається. Для відбору максимальної потужності від таких джерел застосовні подібні алгоритми, що і для фотомодулів, з тією різницею, що при цьому потрібна більша швидкість реакції системи управління (по скільки, наприклад, оберти двигуна, що обертає генератор, можуть змінюватися швидше, ніж швидкість зміни освітленості фотомодулів) [2, 5].

У системах управління традиційно використовують один із декількох алгоритмів для оптимізації відбору вихідної потужності від генеруючих енергію пристроїв - метод збурення (сходження), метод зростання провідності, метод струмової розгортки, метод фіксованої напруги [1, 5, 6]. Кожний з них має свої особливості і певну сферу переважного застосування. Може бути також реалізовано кілька керуючих алгоритмів, і перемикання між алгоритмами відбувається динамічно за поточними робочими умовами, (наприклад, зміною масиву фотомодулів).

Студентами – членами наукового гуртка „Інновації в автоматизованих системах управління” на кафедрі автоматики, електроніки та телекомунікацій творчо досліджується і проаналізований досвід сучасної реалізації інноваційних інженерно-технічних рішень за вище вказаною непростю, але актуальною і перспективною проблематикою. З’ясовано, що алгоритми і методи для оптимізації потужності фотомодулів застосовні й до інших джерел електроенергії - електричних генераторів змінного і постійного струму зі збудженням від постійних магнітів. Їх вихідні ВАХ схожі – у генераторів струм в режимі короткого замикання обмежується реакцією якоря і індуктивним опір – це ЕРС генератора, яка залежить від числа його оборотів, індукції магнітного поля постійних магнітів, числа витків обмоток. Тому для відбору максимальної потужності від таких

джерел застосовні такі ж алгоритми, але з використанням більш швидкісних управляючих контролерів.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Musong L. Katche, Augustine B. Makokha, Siagi O. Zachary, Muiyiwa S. Adaramola. A Comprehensive Review of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Techniques Used in Solar PV Systems. // Energies. – 2023. – Vol. 16(5). – С. 2206*
2. *Hala J. El-Khozondar, Rifa J. El-Khozondar, Khaled Matter, Teuvo Suntio. A review study of photovoltaic array maximum power tracking algorithms. // Renewables: Wind, Water, and Solar. – 2016. – Vol. 3. – Article 3*
3. *Yulian Paitash, Yaroslav Paranchuk. Comparative Analysis of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Panels. // SEPES. – 2024. – Vol. 6, № 1. – С. 72–83*
4. *Yuke Li. A Review of Maximum Power Point Tracking Control Strategies for Photovoltaic Power Generation Systems. // Applied and Computational Engineering. – 2025. – Vol. 169. – (Open Access Review)*
5. *Maximum power point tracking (MPPT) techniques: Recapitulation in solar photovoltaic systems. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 54. – С. 1018–1034*
6. *A Comprehensive Review of Recent Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Systems under Partial Shading. // Sustainability. – 2023. – Vol. 15(14)*

### MPPT TECHNOLOGY IN INVERTERS: WORKING PRINCIPLE

*O. Dryuchko, Ph.D., Associate Professor,*

*R. Zakharchenko, Ph.D., Associate Professor,*

*M. Pershin, student,*

*V. Zhdanov, student,*

*V. Antsupov, student*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 621.865.8**

*О.Г. Дрючко, к. х. н., доцент,*

*С.Г. Кислиця, к. т. н., доцент,*

*В.М. Галай, к. т. н., доцент,*

*К.К. Брижак, студент,*

*О.О. Куденко, студент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ДИСТАНЦІЙНЕ УПРАВЛІННЯ КІНЕМАТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЕЛЬТА-РОБОТА У ПОТОКОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ**

На сьогоднішній день роботи з паралельною структурою досить широко застосовуються у виробничих процесах. Дельта-роботи, що мають високу швидкість, вже добре зарекомендували себе при обслуговуванні безперервних технологічних ліній – при розміщенні компонентів на друкованих платах, сортуванні невеликих виробів, переорієнтації виробів у потоці, зварюванні, у фармацевтичній та харчовій промисловості [1-4]. Для паралельних робіт у зв'язку з динамічним розширенням інноваційної конструкційної бази та можливостей інтелектуальних технологій управління дуже актуальним є збільшення сфер технічних додатків і, у тому числі, впровадження на допоміжні стадії операцій.

Незважаючи на універсальність застосування дельта-роботів, з технічних міркувань їх проектують під певні завдання та функції, які вони виконуватимуть. Від обсягу та якості робочого простору маніпулятора, жорсткості його конструкції та інших характеристик залежить кінематика та динаміка маніпулятора. Ці фактори роблять актуальною мету роботи – синтез параметрів дельта-робота з урахуванням обмежень, що накладаються на робочий простір.

У повідомленні розглядається підхід визначення кінематичних характеристик дельта-робота за координатами необхідної робочої зони, заснований на рівняннях зв'язку.

Щоб керувати маніпуляторами, необхідне вирішення таких завдань:

- розв'язання прямої та зворотної задачі кінематики; - аналіз робочого простору; - планування рухів робота; - розрахунок сил та моментів; - розрахунок динамічної точності.

Основою конструкції маніпуляторів із паралельною структурою є використання паралелограмів, завдяки яким зберігається просторова орієнтація робочого органу.

Трикутна платформа, яка формою нагадує букву грецького алфавіту дельта, переміщається у просторі по трьох осях – X, Y та Z – за допомогою трьох важелів, які закріплені на основі пристрою.

Завдяки дуже малій інерції такий робот здатний здійснювати рухи з величезною швидкістю. Найважливіші відмінні характеристики дельта-робота - це швидкість, компактність і точність. Серед недоліків можна виділити використання великої кількості приводів, висока вартість та складність системи керування.

Однією з важливих завдань під час проектування робота є визначення його кінематичних характеристик (довжин плечей, кутів повороту приводів) залежно від необхідної робочої області робота, оскільки на їх основі прокладаються траєкторії руху інструмента.

У роботі з розрахунку зворотної задачі кінематики розглядаються співвідношення для обчислення кутів повороту шарнірів 1, 2, 3 за заданими координатами  $X_0$ ,  $Y_0$ ,  $Z_0$  центру рухомої платформи. У нашому випадку значення координат центру платформи обмежені заданими параметрами робочої зони і граничними кутами повороту шарнірів. Із системи рівнянь та нерівностей отримані числові значення довжин плечей складових важелів.

Встановлено, що при збільшенні плеча важеля, що кріпиться до рухомої основи, звужується робоча зона по осі  $Z$ . При збільшенні плеча важеля, який кріпиться до нерухомої основи, робоча область змінюється по всіх трьох осях: збільшується в площині  $XY$  і звужується по осі  $Z$ .

Алгоритм керування замкнутої системи управління задається на програмованому логічному контролері (ПЛК) або мікроконтролері, вбудованому в систему керування роботом. Вони відповідають за обробку вхідних сигналів від датчиків робота, порівняння з заданими параметрами та перетворення їх у команди руху приводів.

Система керування роботом покладається на набір датчиків для моніторингу різних аспектів його роботи, таких як його положення, швидкість і прискорення, вимірювання сили і крутних моментів. Найпоширенішими датчиками в дельта-роботах є оптичні кодери, які вимірюють обертання важелів робота. Ці датчики забезпечують зворотний зв'язок кутового положення з алгоритмом керування, що дозволяє йому визначати положення та швидкість робота в реальному часі.

Поєднуючи точні алгоритми керування з передовими інтелектуальними завданнями, технологіями створення компонентної бази, датчиків і приводів, роботи Delta змінюють способи і можливості промислової автоматизації і являються інноваційним еволюційним етапом його сучасного розвитку.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Merlet, J.-P., *Parallel Robots*, Kluwer Academic Publishers, 2020.
2. Miller, K., "Modeling of Dynamics and Model-Based Control of DELTA Direct-Drive Parallel Robot," *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 17, No. 4, pp. 344-352, 2005.

3. *Fages, G., "La vérité sur les robots parallèles," ROBAUT, J'automatise, No. 4, June-July 2009.*

4. *Parallel Kinematic Machines: Theoretical Aspects and Industrial Requirements, C. R. Boër, L. Molinari-Tosatti, and K.S. Smith (Eds), Springer-Verlag, 2019.*

### **REMOTE CONTROL OF KINEMATIC CHARACTERISTICS OF DELTA ROBOTS IN FLOW-STREAM PRODUCTION**

*O. Dryuchko, Ph.D., Associate Professor,*

*S. Kislytsia, Ph.D., Associate Professor,*

*V. Galay, Ph.D., Associate Professor,*

*K. Bryzhak, student,*

*O. Kudenko student*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

**УДК 519.713**

*О.Г. Дрючко, к. х. н., доцент,*

*Т.Ю. Мірошниченко, аспірант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ВРАХУВАННЯ СПЕЦИФІКИ ПЕРЕДУМОВ НА ЕТАПІ РОЗРОБЛЕННЯ ЛОКАЛЬНОЇ ДИСТАНЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ УПРАВЛІННЯ У ФІЗИЧНОМУ ЕКСПЕРИМЕНТІ**

На сьогоднішній день розробка бездротових сенсорних мереж є актуальним завданням у сфері технічного забезпечення, моніторингу та управління комплексними системами розподілених об'єктів і особливо в системах промислової телеметрії та управління передачею даних на невеликі відстані. Бездротові мережі на базі стандарту IEEE 802.15.4 являють собою альтернативу провідним з'єднанням у подібних системах та відрізняються більш гнучкою архітектурою, вимагають менших витрат при їх організації та експлуатації. Об'єднані в бездротову сенсорну мережу датчики утворюють територіально розподілену самоорганізовану систему збору, обробки та передачі інформації. А їх практична реалізація за такими технологіями, безсумнівно, є нестандартним і водночас ефективний спосіб вирішення проблеми.

Слід зазначити, що незважаючи на певну еволюцію сенсорних мереж, концепція побудови сенсорної мережі остаточно не оформилася і не виразилася певними програмно-апаратними (платформними) рішеннями. Реалізація сенсорних мереж на поточному етапі багато в чому залежить від конкретних вимог поставленої задачі. Архітектура, програмно-апаратна реалізація перебуває на етапі інтенсивного формування технології, що звертає увагу розробників з метою пошуку технологічної ніші для майбутніх практичних рішень.

Локальна мережа WLAN (Wireless Local Area Network), для створення якої використовують бездротові технології - це інформаційне середовище, яке об'єднує в єдине ціле комп'ютери, сервери, пристрої зберігання даних, мережеве обладнання та програмне забезпечення. У локальній мережі може бути всього кілька комп'ютерів, а може бути велика кількість робочих станцій в межах однієї організації. Такі мережі забезпечують оптимізацію інформаційних ресурсів, ефективний обмін інформацією між співробітниками, спільне вирішення завдань, централізований доступ та стабільну роботу ІТ-систем, розподіл обчислювальних ресурсів, інформаційну безпеку тощо.

Для побудови бездротових мереж можуть використовуватись такі технології:

- ZigBee (стандарт IEEE 802.15.4). Застосовується при створенні персональних мереж, у тому числі систем «розумний будинок», забезпечує радіус покриття 1-100 м;

- Bluetooth (стандарт IEEE 802.15.1). Невеликий радіус покриття дозволяє створювати персональні мережі, найчастіше, для підключення до ПК бездротових пристроїв;

- Wi-Fi (стандарт IEEE 802.11). Ця технологія сьогодні найчастіше застосовується для створення WLAN;

- WiMAX (стандарт IEEE 802.16). Дозволяє забезпечувати з'єднання на відстані до кількох кілометрів і застосовується для побудови WMAN.

Основною особливістю WLAN є можливість створити стабільне підключення в місцях, де прокладка кабелів утруднена. Крім того, рішення забезпечує: 1) мобільність користувачів (підключені пристрої легко переміщати в межах покриття бездротової мережі без втрати швидкості та якості передачі даних); 2) простоту створення; 3) можливості підключення сотень користувачів до однієї точки доступу, на відміну від дротових мереж, у яких для підключення кожного пристрою потрібен окремий кабель; 4) швидке та легке масштабування або модернізація за допомогою додавання чи заміни потрібної кількості мережевих пристроїв; 5) енергоефективність, гнучкість та економічність рішення; 6) покриття від кількох метрів до кількох кілометрів, залежно від вибраного обладнання та технологій.

До основних мінусів та можливих проблем, пов'язаних з використанням мереж WLAN, відносяться: 1) обмежена дальність передачі. Ця складність враховується на етапі проектування та вирішується підбором оптимального обладнання та технологій для конкретних завдань; 2) можливі перешкоди чи нестабільність з'єднання. Побудова Wi-Fi мережі в будівлі передбачає попередній аналіз таких складнощів та створення оптимальної схеми розміщення обладнання, що унеможливило б подібні проблеми; 3) загрози як підключення неавторизованих користувачів, Для мінімізації таких ризиків підбираються ефективні рішення для захисту бездротових мереж та користувачів.

До основних пристроїв, за допомогою яких створюються бездротові мережі, належать: • мережні карти; • точки доступу; • комутатори; • ретранслятори; • мости та інше обладнання.

Під час створення Wi-Fi-мереж передача радіосигналів здійснюється в радіодіапазоні 2,4 ГГц або 5 ГГц. Точки доступу транслюють свій SSID (ідентифікатор мережі), а пристрої користувачів, потрапляючи в область покриття, надсилають запит, щоб налаштувати підключення.

У запропонованому авторами проекті як базова розглядається технологія ближнього радіозв'язку, що ретранслюється, 802.15.4/ZigBee, відома як «Сенсорна мережа» (англ. WSN – Wireless Sensor Network). Вона представляє собою розподілену самоорганізовану стійку до відмов окремих вузлів мережу з необслуговуваних пристроїв, які не потребують спеціальної

установки. Кожен вузол сенсорної мережі може містити різні датчики, мікрообчислювачі та радіоприймальні передавачі, адаптери і засоби керування. Це дозволяє функціональному агрегату здійснювати вимірювання, самостійно проводити початкову обробку даних та підтримувати зв'язок із зовнішньою інформаційною системою.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Karl H., Willig A. *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. — Wiley, 2005. — 524 p
2. Akyildiz I. F., Su W., Sankarasubramaniam Y., Cayirci E. *Wireless Sensor Networks: A Survey // Computer Networks*. — 2002. — Vol. 38(4). — P. 393–422
3. Callaway E. H. *Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols*. — Auerbach Publications, 2003. — 360 p
4. ZigBee Alliance. *ZigBee Specification*. — IEEE 802.15.4-Based Wireless Standard. — 2015
5. IEEE Standard 802.11-2020. *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. — IEEE, 2020
6. Bluetooth SIG. *Bluetooth Core Specification Version 5.3*. — Bluetooth Special Interest Group, 2021
7. Ghosh A., Wolter D., Andrews J., Chen R. *Broadband Wireless Access with WiMAX/802.16: Current Performance Benchmarks and Future Potential // IEEE Communications Magazine*. — 2005. — Vol. 43(2). — P. 129–136
8. Culpepper B., Dung T. *Deployment Considerations in Wireless Sensor Networks: A Survey of ZigBee Deployment Scenarios // International Journal of Distributed Sensor Networks*. — 2013. — Vol. 9(3)

### TAKING INTO ACCOUNT THE NATURE OF THE SPECIFICITY OF PRECONDITIONS AT THE STAGE OF DEVELOPMENT OF A LOCAL REMOTE CONTROL NETWORK IN A PHYSICAL EXPERIMENT

*O. Dryuchko, Ph.D., Associate Professor,*

*T. Miroshnychenko, postgraduate student*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 622.243.4:622.24**

*Ю.Г. Дяченко, викладачка спеціальних дисциплін,*

*Ж.В. Деркунська, викладачка спеціальних дисциплін*

*Полтавський фаховий коледж нафти і газу,*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **НАВІГАЦІЙНО-КЕРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ СТОВБУРА ПОХИЛО-СКЕРОВАНИХ ТА ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН**

Похило-скероване буріння як технологія спорудження свердловин у заданому напрямку було вперше реалізоване у 1934 році в США (Дж. Істман, Р. Хайнс, Дж. Фейлінг) та згодом застосоване на важкодоступних родовищах, зокрема в районі Баку і Каспійського моря. Похило-скероване буріння широко застосовується під час розробки нафтових, газових і твердих корисних копалин, особливо за складних гірничо-геологічних умов [1].

Спорудження похило-скерованих і горизонтальних свердловин здійснюється відповідно до індивідуального або групового затвердженого робочого проекту та програми буріння, які містять розрахунковий профіль стовбура, склад КНБК, характеристику гірничо-геологічних умов і спосіб закінчення свердловини. Положення будь-якої точки траєкторії стовбура визначається зенітним і азимутальним кутами та довжиною стовбура від гирла.

Засоби вимірювання цих параметрів і передавання інформації на поверхню для навігаційного керування траєкторією свердловини об'єднуються в телеметричні системи [2].

Телеметричні системи дозволяють проводити орієнтування відхиляючої компоновки за заданим азимутом, визначати кут закручування бурильної колони під дією реактивного крутного моменту вибійного двигуна та проводити інклінометричні вимірювання [2].

Глибинний вимірювальний пристрій розміщують безпосередньо над відхилювачем або секцією ОБТ, що використовується для регулювання інтенсивності викривлення траєкторії свердловини. У герметичному контейнері приладу розміщені датчики азимутального та зенітного кутів, кута встановлення відхилювача, а також електронні перетворювачі для модуляції сигналів і передачі вимірювальної інформації на поверхню. Передавання даних здійснюється кабельним каналом зв'язку через герметизуючий пристрій вертлюга.

Телеметрія – це перетворення каротажної інформації у сигнал, придатний для передавання на поверхню, що забезпечує електроживлення приладів у складі КНБК та високошвидкісну передачу даних. Конструкція

свердловинного приладу базується на модульному принципі та включає батарейний, навігаційний (інклінометричний), передавальний (пульсатор), гамма-каротажний і сполучні модулі, а також модуль вилучення [1].

Сучасні сервісні компанії для буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин застосовують телеметричні системи типу «Compass» з гідравлічним каналом зв'язку. Сучасні телеметричні системи з гідравлічним каналом зв'язку дедалі частіше інтегруються з MWD/LWD-модулями та системами геонавігації, що забезпечує безперервний контроль траєкторії та параметрів пласта в режимі реального часу. Використання таких систем дозволяє підвищити точність провідки похило-скерованих і горизонтальних свердловин, зменшити кількість коригувальних рейсів і оптимізувати процес буріння за рахунок оперативного прийняття технологічних рішень.

Взагалі відомо багато конструкцій телеметричних систем, що відрізняються способами передачі сигналів на поверхню. Деякі сервісні компанії надають послуги з телеметричного супроводу буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин із застосуванням власних телесистем з гідравлічним і електромагнітним каналами зв'язку з можливістю включення гамма-каротажного модуля. Послуги телеметричних вимірювань під час буріння дозволяють компаніям отримувати інформацію в короткі терміни і своєчасно приймати рішення щодо підвищення ефективності буріння, оптимізації провідки свердловини та підготовки її до наступних видів робіт.

Основними перевагами телесистеми є: вилучення вибійних модулів при проведенні аварійних робіт; низьке енергоспоживання, що забезпечує максимальний термін служби батарейних елементів; невелика тривалість повного технічного обслуговування завдяки застосуванню сучасних матеріалів і технологій, мінімальні витрати на ремонт і обслуговування; настройка амплітуди створюваного імпульсу за допомогою вибору клапанної пари; робота при високому вмісті кольматуючих добавок і піску [1].

Отже, похило-скероване та горизонтальне буріння є ефективними технологіями спорудження свердловин, що забезпечують досягнення проектних цілей за складних гірничо-геологічних умов. Застосування сучасних телеметричних систем дозволяє здійснювати точне навігаційне керування траєкторією стовбура, своєчасно коригувати параметри буріння та підвищувати техніко-економічну ефективність робіт.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Дяченко Ю.Г., Майборода Д.К. Навігаційні роботи із керування стовбуром похило-скерованих і горизонтальних свердловин. *The 6th International scientific and practical conference - Eurasian scientific congress*||

(June 14 - 16, 2020) *Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain, 2020. – 612 p*

2. 2 Вітрик В.Г. Технологічний регламент на буріння свердловини із похило-скерованими і горизонтальними стовбурами / В.Г. Вітрик, О.М. Денисюк, А.М. Лівінський, В.Д.Бойчук, В.І. Сіренко. – ТОВ «Науково – технічне підприємство «Бурова техніка», Київ, 2017. – 87 с

## **NAVIGATION-GUIDED TECHNOLOGIES FOR FORMING THE STEM OF INDUCTIVE AND HORIZONTAL WELLS**

*Y. Dyachenko, teacher of special disciplines,*

*Zh. Derkunska, teacher of special disciplines*

*Poltava Professional College of Oil and Gas*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 004.021:004.89:004.056.5**

*Є. Живило, к.держ.упр., доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **АДАПТИВНА СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ ГІБРИДНИХ HNN-МОДЕЛЕЙ**

Сучасні кіберфізичні та інформаційно-комунікаційні системи характеризуються зростанням складності та варіабельності інформаційних потоків, що призводить до появи нових класів кіберзагроз і форм аномальної поведінки які істотно ускладнюють їх своєчасне виявлення. Класичні статистичні та детерміновані методи аналізу виявляються малоефективними в умовах динамічної зміни профілю атак, обмеженості апріорних знань і високого рівня завад. У зв'язку з цим актуальною є розробка адаптивних інтелектуальних систем виявлення аномалій, здатних до самонавчання та роботи в режимі реального часу.

В дослідженні представлено математичну модель адаптивної системи виявлення аномалій, побудовану на основі гібридних нейромережних архітектур, які поєднують методи глибокого навчання, стохастичного аналізу та ймовірнісного моделювання. Модель формалізує процес самоналаштування системи за допомогою узагальненого функціонала втрат із динамічними ваговими коефіцієнтами, що коригуються відповідно до змін поведінкових характеристик вхідних даних.

У запропонованій роботі адаптаційний механізм формалізовано як систему диференціальних рівнянь, що забезпечує аналітичну оцінку збіжності процесу навчання та стійкості моделі в умовах флуктуацій інформаційного середовища. Так для підвищення точності виявлення аномалій застосовано градієнтно-ентропійні методи оптимізації, а також байєсівський підхід до оцінювання невизначеностей, що забезпечує формування імовірнісних оцінок ризику та підвищує робастність системи.

Проаналізовано ефективність гібридних архітектур на основі комбінацій LSTM-Autoencoder, CNN та Transformer-моделей для обробки поточкових даних у реальному часі. Важливо наголосити, що застосований адаптивний механізм превентивного реагування дозволяє не лише виявляти аномалії, а й прогнозувати їх появу та ініціювати запобіжні дії, що є вирішальним для захисту критичної інформаційної інфраструктури.

Отримані результати моделювання свідчать про перевагу запропонованої системи над класичними автоенкодерними та рекурентними підходами за показниками точності, швидкодії та стійкості до зміни типів загроз. Розроблена математична модель може бути використана як науково обґрунтована основа для створення інтелектуальних систем кіберзахисту

нового покоління, здатних до автономного функціонування та адаптації у динамічному інформаційному середовищі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *National Institute of Standards and Technology (NIST). (2024). Cybersecurity Framework (CSF) 2.0. NIST CSWP 29. Retrieved from: <https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.29>.*

2. *European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). (2024). ENISA Threat Landscape 2024. Retrieved from: <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2024>.*

3. *NIST. (2018). Framework for Improving Critical Infrastructure Cybersecurity (Version 1.1).*

4. *URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/CSWP/NIST.CSWP.04162018.pdf>.*

#### **ADAPTIVE SYSTEM FOR ANOMALY DETECTION IN CYBER-PHYSICAL SYSTEMS BASED ON HYBRID HNN MODELS**

*Y. Zhyvylo, Candidate of Sciences in Public Administration, Associate Professor National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

**УДК 005.8**

*Н.В. Земський, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,*

*М.В. Сторожук, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти,*

*Т. Г. Фесенко, д.т.н., професор*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **УПРАВЛІННЯ ІТ ПРОЄКТАМИ В ЕПОХУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ: НОВІ ІНСТРУМЕНТИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТНИХ ДІЙ**

Епоха четвертої промислової революції (Industry 4.0) характеризується глибокою інтеграцією технологій штучного інтелекту (Artificial Intelligence, AI) у всі сфери економіки, зокрема в управління ІТ проєктами. Системи AI здатні обробляти величезні масиви історичних даних, виявляти приховані патерни та генерувати значно точніші прогнози, ніж традиційні статистичні методи. Водночас, стандартні метрики, як-от EV (Earned Value), CPI (Cost Performance Index) та SPI (Schedule Performance Index) [1–2], є ретроспективними і фіксують відхилення, що вже відбулися. В умовах високої динаміки ІТ проєктами критично необхідне застосування прогностичних інструментів, які мінімізують вплив людського фактора та надають рекомендації до настання критичних подій. ML-алгоритми замінюють суб'єктивні оцінки експертів (наприклад, методом Delphi) на предиктивні оцінки термінів (Time Estimation) та необхідних ресурсів, ґрунтуючись на фактичній продуктивності. Генеративні моделі AI дозволяють автоматизувати створення ієрархічної структури робіт (Work Breakdown Structure, WBS) та формування деталізованих User Stories.

Найбільший вплив AI має на ідентифікацію та управління ризиками [3]. Алгоритми ML здатні безперервно аналізувати щоденні дані (коміти коду, активність у Jira, комунікації в Slack) для виявлення аномалій, що можуть свідчити про потенційний зрив термінів або перевитрату бюджету. Крім того, AI може присвоює завданням і проєктам динамічний «скоринг ризику» (Risk Scoring). Це дозволяє менеджеру фокусуватися лише на критично небезпечних зонах.

Для оптимізації розподілу людських ресурсів AI-системи пропонують найкращого виконавця для кожного завдання, ґрунтуючись на його попередній успішності, швидкості та релевантному досвіді (а не лише на доступності) [4]. Аналіз патернів роботи (наприклад, часу останнього коміту або тривалості робочої сесії) дозволяє AI заздалегідь виявити перевантаження (Burnout) та попередити про ризик емоційного вигорання члена команди.

AI стає потужним інструментом для контролю якості через інтеграцію у процес розробки: аналіз якості коду (наприклад, застосування DeepCode

та SonarQube, для автоматичного виявлення проблемних фрагментів коду); автоматизація тестування (впровадження інструментів Mabl та Testim для інтелектуального автоматизованого тестування); безпека (застосування GitHub Advanced Security дозволяє автоматично виявляти вразливості та проблеми безпеки на ранніх етапах).

У підсумку, епоха AI змінює саму парадигму оцінки ефективності – від ретроспективної фіксації до проактивного управління на основі предикції. Інтеграція AI-інструментів, що генерують прогностичні метрики дозволяє менеджерам відмовитися від реактивного стилю управління на користь стратегічного втручання, сфокусованого на зниженні ризиків із найвищим скорингом.

Подальші дослідження будуть спрямовані на стандартизацію вхідних даних для AI-моделей та розробку ефективних інструментів пояснювального AI (Explainable Artificial Intelligence) для підвищення довіри до автоматизованих управлінських рішень.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. *A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) : Seventh Edition.* – USA : Project Management Institute, 2021. – 589 p
2. Фесенко Т. Г. *Управління проектами: теорія та практика виконання проектних дій.* Харків: ХНАМГ, 2012. – 181 с
3. Ясінецький О. О., Фесенко Т. Г.. *Управління ризиками IT проектів: аналітичний огляд досліджень // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. Нац. техн. ун-т. «Харків. політехн. ін-т». Харків : НТУ «ХПІ», №1 (10), 2025, С. 98–109. <https://doi.org/10.20998/2413-3000.2025.10.6>*
4. Barska I., Teslenko P., Fesenko T., Voznyi O. *Algorithm of distributing the team load for IT-project // 2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Warsaw, Poland, 2015, P. 559–562, <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2015.7341367>*

### IT PROJECT MANAGEMENT IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: NEW TOOLS FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF PROJECT ACTIONS

*N. Zemskyi, Bachelor's degree student*

*M. Storozhuk, Bachelor's degree student*

*T. Fesenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor  
National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 004.056.5**

*Ю.В. Іванко, магістрантка,*

*С.Л. Городецький, старший викладач*

*Харківський Національний університет радіоелектроніки*

## **АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ КІНЦЕВИХ ТОЧОК В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

Зростання цифровізації та ускладнення інформаційних систем спричинили істотне підвищення навантаження на інфраструктури кіберзахисту. Кінцеві точки перетворилися на найбільш вразливі об'єкти, оскільки перебувають у постійній взаємодії з мережею, обробляють значні обсяги інформації й часто функціонують у неконтрольованих умовах [1].

У роботі досліджено трансформацію підходів до забезпечення захисту кінцевих точок в інформаційних системах та визначено роль сучасних технологій виявлення і реагування на загрози.

Захист кінцевих точок формувався під впливом еволюції обчислювальних технологій та змін у характері кіберзагроз. На початкових етапах розвитку інформаційних систем кінцеві пристрої виконували роль пасивних терміналів без власних засобів обробки даних, що значно знижувало рівень їх вразливості. Із поширенням локальних мереж кінцеві точки отримали автономність, здатність обробляти дані локально і, відповідно, більшу площу атаки.

У сучасних умовах кінцеві точки стали динамічними елементами децентралізованих систем, що взаємодіють із хмарними сервісами, мобільними ресурсами та IoT-пристроями. Посилення ролі соціальної інженерії, збільшення частки безфайлових загроз і поширення атак нульового дня показали недостатність сигнатурних моделей захисту. Це зумовило необхідність переходу до рішень, здатних аналізувати поведінкові моделі та реагувати на аномалії в реальному часі.

Системи EDR сформувалися як відповідь на потребу глибокого контролю над процесами, що відбуваються на кінцевих пристроях. Архітектура таких платформ поєднує агентський збір інформації, аналітичні модулі машинного навчання, сховища великих даних та інструменти автоматизованого реагування [1, 2]. Завдяки цьому EDR здатні забезпечувати безперервний огляд, виявляти відхилення у поведінці процесів і швидко нейтралізувати шкідливу активність.

Агент, встановлений на кінцевій точці, фіксує системні події, аналізує стан процесів, мережеві підключення та дії користувача, що дозволяє виявляти нетипові сценарії навіть без наявності відомих сигнатур. Аналітична платформа використовує алгоритмічні моделі для визначення аномалій, встановлення кореляцій між подіями та формування контексту інциденту. Завдяки наявності механізмів автоматизованої відповіді система

здатна ізолювати компрометований пристрій, зупиняти процеси та усувати артефакти до того, як інцидент набуде масштабного впливу.

EDR інтегрується з іншими компонентами інфраструктури безпеки, зокрема SIEM та NDR, що забезпечує реалізацію концепції SOC Visibility Triad і створює комплексний огляд подій на рівні логів, мережі та кінцевих точок [3].

Класичні антивірусні продукти, що базуються на сигнатурних методах, виявили неспроможність ефективно протидіяти сучасним динамічним загрозам. Їхня модель реагування є реактивною і передбачає виявлення загрози лише після її реєстрації у відповідних базах. Відсутність поведінкового аналізу, низький рівень інформативності щодо контексту інциденту та неможливість автоматизованої нейтралізації знижують їхню ефективність у середовищах, де використовуються складні техніки обходу захисту.

У протилежність цьому EDR-рішення забезпечують виявлення на рівні процесів і подій, створюють умови для реконструкції ланцюжка атаки та дають змогу здійснювати кореневий аналіз причин. Їхня поведінкова спрямованість дозволяє виявляти загрози нульового дня, безфайлові атаки й шкідливі сценарії, що маскуються під легітимну активність.

В доповіді здійснено узагальнення ролі EDR у структурі SOC Visibility Triad у контексті обмежень SIEM та NDR у сучасних умовах розподілених інфраструктур, а також обґрунтовано залежність ефективності кіберзахисту від інтеграції поведінкової аналітики та автоматизованого реагування.

Розглянута архітектура та функціональні моделі можуть використовуватися для побудови або модернізації систем моніторингу безпеки, оптимізації процесів реагування та зменшення часу виявлення інцидентів. Результати дослідження є корисними для проєктування багаторівневої системи захисту, підвищення стійкості критичних активів та впровадження принципів Zero Trust у великих організаціях [4].

Проведений аналіз показав, що складність сучасних кібератак вимагає переходу від сигнатурних підходів до поведінкових моделей, здатних забезпечити повноцінну видимість і оперативне реагування. Системи EDR, завдяки своїй багаторівневій архітектурі, можливостям автоматизації та високому рівню аналітичної точності, стають центральним елементом корпоративних моделей кіберзахисту. Їхня інтеграція з іншими компонентами SOC забезпечує створення ефективної та адаптивної екосистеми інформаційної безпеки, здатної протидіяти загрозам будь-якої складності.

## ЛІТЕРАТУРА:

*1. Баклан, Я. А., & Северінов, О. В. (2022). Аналіз систем захисту кінцевих точок від складних загроз EDR (Endpoint Detection and Response).*

2. Сєвєрінов, О. В., Балагура, Д. С., & Семенова, К. М. (2024). Використання систем EDR для протидії шкідливому програмному забезпеченню.

3. Sievierinov, O., Ovcharenko, M., & Vlasov, A. (2021). Enterprise Security Operations Center. Computer and information systems and technologies.

4. Moskvina, K., and O. Sievierinov. Zero Trust Architecture in Corporate Cybersecurity Systems. ХНУРЕ, 2025.

## **ANALYSIS OF APPROACHES TO PROVIDING ENDPOINT PROTECTION IN INFORMATION SYSTEMS**

*Y. Ivanko, undergraduate,*

*S. Horodetskyi, Senior Lecturer*

*Kharkiv National University of Radio Electronics*

**УДК 004.021:004.89:004.056.5**

**Ю.В. Калашнікова, асистент**

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО КРИПТОГРАФІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ДОСТУПОМ У МУЛЬТИДОМЕННИХ СИСТЕМАХ**

Сучасний розвиток ІТ супроводжується стрімким зростанням ролі цифрових систем у критично важливих галузях, зокрема у промисловості, енергетиці, транспорті та сфері державного управління. Впровадження концепцій Internet of Things, cyber-physical systems і хмарних обчислень зумовило формування мультидоменних кіберінфраструктур, у межах яких одночасно функціонують гетерогенні пристрої, сервіси та користувачі з різними рівнями доступу і довіри. У таких умовах особливе значення набуває управління спец користувачами, наділеними розширеними привілеями, оскільки їх компрометація може призвести до системних порушень безпеки та втрати керованості критичними процесами.

Аналіз існуючих підходів до керування доступом свідчить, що більшість з них базується на статичних політиках авторизації та заздалегідь визначених ролях. Подібні моделі не враховують динамічні зміни контексту використання ресурсів, поведінкові особливості користувачів і не забезпечують оперативного реагування на аномальні дії. Як наслідок, системи залишаються вразливими до внутрішніх атак, несанкціонованої ескалації привілеїв та зловживання сервісними обліковими записами, що особливо критично для розподілених IoT- і SCADA-середовищ.

Додатковим ускладнюючим фактором є необхідність криптографічного захисту інформаційних потоків у гібридних мережах з різнорідними обчислювальними ресурсами та каналами зв'язку. Інтеграція алгоритмів симетричного шифрування, зокрема AES, у такі середовища потребує забезпечення балансу між криптографічною стійкістю, обчислювальною ефективністю та мінімальними затримками автентифікації. При цьому ключовими завданнями залишаються уніфіковане керування ключовим матеріалом, контроль життєвого циклу сеансів доступу та забезпечення міждоменного довірчого обміну.

У цьому контексті перспективним напрямом є застосування інтелектуальних механізмів адаптації доступу, заснованих на методах ML. Поведінковий аналіз активності спеціальних користувачів дозволяє формувати динамічні профілі доступу на основі часових, просторових і функціональних ознак, виявляти відхилення від нормальної поведінки та автоматично коригувати рівень привілеїв. Поєднання таких підходів із криптографічними протоколами створює основу для побудови

самоадаптивної архітектури управління доступом, здатної забезпечити високий рівень безпеки без втрати продуктивності.

У роботі запропоновано архітектурно-криптографічну модель управління системами спец користувачів з інтелектуальною адаптацією доступу. Модель орієнтована на застосування в мультидоменних кіберінфраструктурах і поєднує механізми симетричного шифрування DES/AES із модулями поведінкової аналітики та динамічного керування політиками доступу. Наведена архітектура передбачає можливість інтеграції в гетерогенні середовища, включно з IoT-платформами, SCADA-системами та урядовими дата-центрами, з урахуванням обмежень пропускну здатності та обчислювальних ресурсів.

Експериментальні дослідження підтвердили доцільність застосування алгоритмів AES-256 у режимах автентифікованого шифрування з використанням апаратного прискорення, зокрема технологій AES-NI та HSM. Отримані результати засвідчили, що запропонована модель забезпечує високий рівень криптографічної стійкості при збереженні низьких затримок автентифікації та лінійної масштабованості продуктивності. Навантажувальні тести показали стабільну роботу системи за умов одночасного обслуговування тисяч привілейованих сесій без деградації показників SLA.

Окрему увагу приділено сценаріям динамічної ротації ключів і федеративної автентифікації у розподілених середовищах. Результати експериментів засвідчили здатність моделі підтримувати безперервність криптографічних процесів і забезпечувати час реакції системи менше однієї секунди навіть у складних SCADA/IoT-конфігураціях. Це підтверджує практичну придатність запропонованого підходу для використання у критично важливих інформаційних системах державного та промислового призначення.

Узагальнюючи отримані результати, можна стверджувати, що запропонована архітектурно-криптографічна модель створює науково обґрунтовану основу для побудови адаптивних систем управління привілеями спеціальних користувачів. Поєднання криптографічних механізмів із інтелектуальною адаптацією доступу підвищує кіберстійкість мультидоменних інфраструктур і знижує ризики внутрішніх загроз. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розвиток адаптивної криптографії, енергетично ефективних рішень для ресурсно обмежених пристроїв, інтеграцію квантово-стійких алгоритмів та створення прогнозних модулів моніторингу на базі AI.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. NIST. *Post-Quantum Cryptography (Projects)*. National Institute of Standards and Technology (NIST). Available at: <https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography>
2. Zhyvylo, Ye. *Risk Management of Critical Information Infrastructure: Threats-Vulnerabilities-Consequences* / Yevhen Zhyvylo, Vladyslav Kuz // *Theoretical and Applied Cybersecurity : scientific journal*. – 2023. – Vol. 5, Iss. 2. – Pp. 68–80. – <https://doi.org/10.20535/tacs.2664-29132023.2.280377>

**MODEL OF ADAPTIVE CRYPTOGRAPHIC ACCESS CONTROL IN MULTIDOMAIN SYSTEMS**

**Y. Kalashnicova**, Assistant

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**UDC 621.316**

*Svitlana Kyslytsia, PhD (Engineering), Associate professor,*

*Festus Frederik Sashekvoiami, master's student,*

*Maksym Zviahol'skyi, master's student*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

## **RESEARCH AND DEVELOPMENT OF ACS OF SOLAR CELLS TRACKING THE SUN USING STEPPER MOTORS AND SOLAR POSITION SENSORS**

The analysis of studies has shown that in order to create an energy-efficient APCS of electric power generation in autonomous photovoltaic power units (APU) of 3-5 kW capacity, it is necessary to develop structural and functional schemes of the tracking system with a two-coordinate electromechanical actuator with a SM and a two-coordinate sensor of the Sun's position. The solar tracking system should provide multi-mode, self-diagnostics, communication and control with an external operator in emergency modes. At the same time, the tracking control system should ensure the specified accuracy of the SB tracking of the Sun while minimizing the electrical energy consumed by the two-coordinate electromechanical actuator with a rod for the SB tracking of the Sun [1].

When developing the functional and structural scheme of the tracking control system for autonomous photovoltaic power units (APU), the following shall be used:

- modern photovoltaic panels (SB) with high technical and economic performance;
- a specialized tracking controller that ensures the functioning of the mechanism of continuous-discrete tracking of the autonomous photovoltaic power units (APU) to the Sun with a given accuracy, realizing asymmetric positioning mode and control of peripheral devices with diagnostics of the whole system;
- battery charge controller with realization of the maximum power extraction mode with SB;
- a two-coordinate photoelectric sensor of the Sun's position with high sensitivity to ensure high tracking accuracy of the autonomous photovoltaic power units (APU);
- SM to provide the specified motion in both coordinates;
- power drivers of the drive having the ability to control the current amplitude, regulate the movement step, realize the micro-step mode, current and voltage protection;
- maintenance-free batteries with a high number of charge-discharge cycles without loss of capacity, with a capacity value designed for a given consumer;

- converter for communication of the tracking controller with the external computer, having optical isolation;
- single-phase inverter with sinusoidal output for powering consumers;
- worm gearboxes combined with spur gearboxes to provide the necessary torque to rotate the frame with the SB and to hold the frame under wind load when the motor is switched off;
- limit switches, providing limitation of frame movement on two coordinates and possibility of frame transfer to horizontal position;
- GPRS - communication module for remote control of autonomous photovoltaic power units (APU) in case of extreme conditions [2].

Taking into account the above, the functional scheme of the autonomous photovoltaic power units (APU) power generation automated control system was developed, shown in Figure 1. The following designations are adopted in the functional scheme: SB - solar batteries (consisting of several photovoltaic panels); STC - solar tracking controller; MCD1, MCD2 - stepper motor control drivers; S1, S2 - sensors of the Sun position by azimuth and angle of place; LS1–LS5 - limit switches; M1, M2 - stepper motors; R1-R4 - reducers; CCB - battery charge controller; I - inverter; B1, B2 - batteries, converter (type I-7561) - computer communication device with controller via RS485 channel; GPRS - communication unit with GPRS channel.

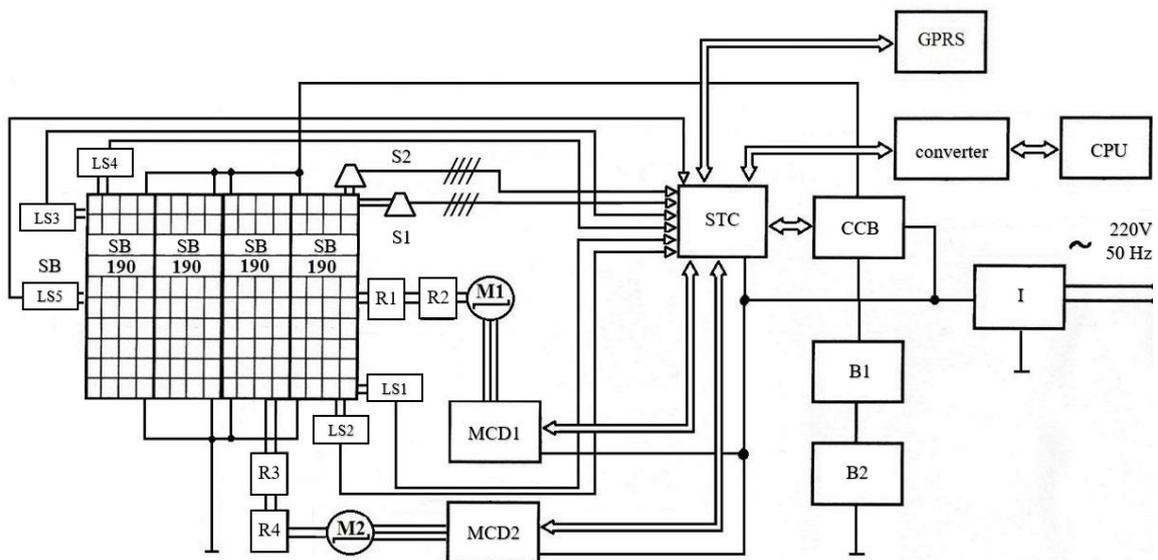


Figure 1 - Functional scheme of the APCS power generation control system

The use of data and commands received and transmitted via GPRS module in the control of autonomous photovoltaic power units (APU) provides realization of man-machine system. This realizes control over the state of the autonomous photovoltaic power units (APU) system by means of diagnostics of the whole system and sending a message to the operator (company servicing the autonomous

photovoltaic power units (APU)) in case of a malfunction in the autonomous photovoltaic power units (APU) system.

#### REFERENCES:

1. Anshory I, Jamaaluddin J, Fudholi A et al. Monitoring solar heat intensity of dual axis solar tracker control system: new approach. *Case Stud Therm Eng* 2024;53:103791.
2. Cardona M, Serrano FE. A systematic review of control strategies for solar tracking systems. In: *2022 IEEE International Conference on Machine Learning and Applied Network Technologies (ICMLANT)*, Soyapango, El Salvador, 15–16 December 2022. Piscataway, NJ:IEEE, 2022, 1-6.

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ, ЩО СЛІДКУЄ ЗА СОНЦЕ НА ОСНОВІ КРОКОВИХ ДВИГУНІВ ТА ДАТЧИКІВ ПОЛОЖЕННЯ СОНЦЯ

*С. Кислиця, к.т.н., доцент,*

*Фестус Фредерік Сашеквоіамі, магістрант,*

*М. Звягольський, магістрант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

**УДК 681.518**

*С. Г. Кислиця, к.т.н., доцент,*

*Д. В. Вертій, магістрант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ**

Мікроклімат приміщення є сукупністю фізичних, хімічних та біологічних факторів, які впливають на робоче середовище. Від мікроклімату виробничого приміщення залежить як якість роботи співробітника, а й продуктивність його праці, працездатність і здоров'я працюючого, і навіть фізичний і психологічний стан співробітника, оскільки робоче місце людина проводить значної кількості часу [1].

Мікроклімат виробничих приміщень визначається поєднанням температури, вологості, рухливості повітря, температури навколишніх поверхонь та їх тепловим випромінюванням, а також атмосферного тиску. Параметри мікроклімату визначають теплообмін організму людини і істотно впливають на функціональний стан різних систем організму, самопочуття, працездатність і здоров'я.

Мікроклімат у виробничих приміщеннях є багатовимірною системою, у якій кожен із параметрів – температура, вологість, швидкість руху повітря, чистота повітря, освітленість та радіаційний фон – відіграє важливу роль у створенні умов, сприятливих для працездатності. Ефективне управління мікрокліматом вимагає комплексного підходу, що включає не тільки використання сучасного обладнання та технологій, а й постійний моніторинг стану повітряного середовища, а також розробку та впровадження заходів щодо оптимізації всіх його компонентів.

Способами покращення метеорологічних умов на робочому місці є влаштування систем штучної вентиляції, кондиціонування та опалення виробничих приміщень. В цілому, ефективне управління мікрокліматом у виробничих приміщеннях потребує комплексного підходу та обліку всіх його складових, включаючи не лише температуру, вологість, швидкість руху повітря, освітленість та радіаційний фон, а й рівень шуму та електромагнітні випромінювання. Додаткові аспекти важливості та впливу температури та вологості на виробничі процеси включають облік сезонних змін та зовнішніх факторів, таких як зміни зовнішньої температури, які можуть впливати на навантаження на системи опалення та кондиціонування. Крім того, важливо враховувати специфіку виробничих процесів та особливості робочих місць під час розробки стратегії підтримки оптимальних умов мікроклімату [2].

З метою покращення стійкості виробничих процесів та скорочення негативного впливу на навколишнє середовище, все більша увага приділяється впровадженню енерго- та ресурсозберігаючих технологій та систем захисту техносфери. З розвитком суспільства та зростанням споживання ресурсів стає дедалі актуальнішим завдання підвищення ефективності використання енергії та матеріальних ресурсів, а також зменшення впливу на навколишнє середовище [3].

Одним із ключових напрямів у цій галузі є оптимізація процесів енергоспоживання з метою ефективного використання різних ресурсів. У цьому контексті можливе застосування кількох заходів, які дозволяють досягти зазначеної мети. По-перше, варто звернути увагу на встановлення сучасного обладнання, що має високу енергоефективність. Завдяки цьому можна значно знизити витрати на енергію, при цьому не зменшуючи продуктивність робочих процесів. Ще одним корисним заходом є автоматизація виробничих процесів. Шляхом впровадження автоматичних систем управління можна оптимізувати використання енергоресурсів, уникати неефективних операцій та знижувати ризик виникнення помилок. В результаті це дозволить підвищити продуктивність і скоротити споживання енергії. Також варто звернути увагу на використання сучасних систем моніторингу та управління енергоспоживанням. Подібні інструменти дозволяють контролювати та аналізувати дані про витрати енергії в реальному часі, а також вживати оперативних заходів щодо оптимізації енергетичних процесів.

Для забезпечення ефективного контролю та управління мікрокліматом також широко використовуються системи автоматизації та дистанційного моніторингу. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни параметрів мікроклімату та проводити коригування роботи кліматичного обладнання навіть у віддаленому режимі. В цілому, розуміння важливості контролю температури та вологості на виробництві та вжиття відповідних заходів щодо їх підтримки є ключовими аспектами забезпечення ефективного та безпечного виробничого процесу. Це потребує комплексного підходу, що включає у собі як використання сучасних технологій і устаткування, а й організаційні заходи щодо навчання персоналу та розробці стратегії підтримки оптимальних умов мікроклімату у довгостроковій перспективі.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. *Мережаний Ю.Г. Автоматизована вентиляційно-опалювальна система для малих виробничих приміщень прецизійного приладобудування / Ю.Г. Мережаний, В.С. Антонюк // Нові технології. - Кремечук: 2011. - №1(31). - с.35-38.*

2. Голінко, І.М. *Моделювання та оптимізація систем керування: монографія* /І.М. Голінко, А.І. Кубрак. – Кам’янець–Подільський: ПП Буйницький, 2012.– 262 с.

3. *Merezhany Y. Automotive indoor climate control for the precision instrument assembly workrooms. / Y. Merezhany, V. Antonyuk // Nauka i studia (Poland). - Przemysl: Sp-ka z o.o. "Nauka i studia", 2011. - NR 14(45). - с. 57-63.*

## **IMPROVEMENT OF THE AUTOMATIC MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM**

**S. Kyslytsia**, *PhD (Engineering), Associate professor,*

**O. Abakumov**, *master’s student*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

УДК 621.316

*С. Г. Кислиця, к.т.н., доцент*

*Д. В. Вертій, магістрант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ВПЛИВ ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА АВТОНОМНУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНУ УСТАНОВКУ**

Вітрове навантаження критично впливає на автономні фотоелектричні установки, створюючи значні механічні напруження, що може перешкоджати повороту панелей за сонцем або навіть спричинити їх пошкодження, особливо при сильних поривах, вимагаючи врахування максимальних швидкостей вітру при проектуванні кріплень, щоб забезпечити стабільність та довговічність системи в умовах погодних випробувань. Великі вітрові навантаження можуть не дозволити здійснити спостереження рами з сонячними батареями за Сонцем, а в електромеханічному виконавчому механізмі з кроковим двигуном через брак моменту ураганний вітер (більше 25 м/с) може вивести з ладу виконавчий механізм стеження фотоелектричної енергоустановки [1].

Основні види впливу вітрового навантаження:

1. Механічні навантаження. Вітер тисне на поверхню панелей, створюючи сили, які можуть бути настільки великими, що перевищують міцність конструкції або тягу приводів, особливо для трекерних систем, що стежать за сонцем.
2. Перешкоджання роботі трекерів. Потужний вітер може завадити електромеханічним механізмам переміщувати раму з панелями, що знижує ефективність збору сонячної енергії.
3. Ризик пошкоджень. Сильні вітри можуть призвести до згинання, зламу панелей, пошкодження кріплень або навіть перекидання всієї установки, якщо вона не розрахована на екстремальні умови.

Розрахунок вітрового навантаження для конкретної установки є складним завданням, оскільки необхідно враховувати не тільки метеорологічні особливості району, де планується розміщення установки, але також особливості місцевості, наявність по сусідству будівель та споруд, штучних та природних перешкод, вплив деталей та елементів конструкції самої фотоелектричної енергоустановки на розподіл вітрового потоку. Тому доцільно поставити завдання узагальненого розрахунку різних варіантів виконання вітрових навантажень у межах обраних умов. Такий підхід дозволить спростити розрахунки, не вдаючись до конкретних особливостей місцевості та варіант виконання установки [2].

В автоматизованій системі спостереження автономних фотоелектричних установках в електромеханічній частині при дії вітрового

навантаження необхідно або збільшувати максимальний момент двигуна (ставити двигун з більшою потужністю та моментом), або вводити додатковий контур управління зі зв'язком по датчиках, що визначає момент від дії вітрового навантаження, щоб реалізувати компенсацію впливу цього моменту, якщо дозволяє потужність двигуна. Це можливо шляхом встановлення на автономні фотоелектричні установки тензометричних (або інших) датчиків [3-4], зміною алгоритму роботи контролера стеження за Сонцем та блоку управління електромеханічними виконавчими механізмами, що забезпечують компенсацію моменту вітрового навантаження.

Для захисту сонячної електростанції [5] від високих вітрових навантажень запропоновано відстежувати швидкість вітру та за необхідності переміщати сонячні батареї у горизонтальне положення. Система захисту від вітру складається з датчика вітру та контролера управління. В автоматизованій системі стеження додатково відбувається опитування датчиків у реальному часі та контролер стеження оцінює ці дані. Сонячна батарея переводиться в горизонтальне положення, коли швидкість вітру перевищує 46 км/год. Крім того, контролер стеження постійно здійснює самодіагностику всієї системи та переводить сонячну електростанцію у горизонтальне положення у разі несправності.

Враховуючи вищевикладене, необхідно для автономної фотоелектричної установки розрахувати величину додаткового моменту в електромеханічній частині з кроковим двигуном від дії вітрового навантаження та розробити алгоритм управління в системі управління стеження, що забезпечує зменшення впливу вітрового навантаження на електромеханічну частину при реалізації режиму стеження за Сонцем.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Hafez AZ, Yousef AM, Harag NM. *Solar tracking systems: technologies and trackers drive types—a review. Renew Sustain Energy Rev* 2018;91:754–82.
2. Jamroen C, Fongkerd C, Krongpha W et al. *A novel UV sensor-based dual-axis solar tracking system: implementation and performance analysis. Appl Energy* 2021;299:117295.
3. Mulenga M, Phiri M, Simukonda L et al. *A multistage hybrid deep learning model for enhanced solar tracking. IEEE Access* 2023;11:129449–66. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3333895>
4. Bentaher H, Kaich H, Ayadi N et al. *A simple tracking system to monitor solar PV panels. Energy Convers Manage* 2014;78:872–5.
5. Ponnirani A, Hashim A, Munir HA. *A design of single-axis sun tracking system. In: 2011 5th International Power Engineering and Optimization*

*Conference, Shah Alam, Malaysia, 6–7 June 2011. Piscataway, NJ: IEEE, 2011, 107–10.*

**INFLUENCE OF WIND LOAD ON A STAND-ALONE PHOTOELECTRIC INSTALLATION**

*S. Kyslytsia, PhD (Engineering), Associate professor,*

*D. Vertii, master's student*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

**УДК 681.5**

*С.Г. Кислиця, к.т.н., доцент,*

*М.В. Мажара, аспірант,*

*Я.Д. Юрченко, студент 201-АР,*

*В.М. Амелкіна, студентка 201-АР*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСВІТЛЕННЯМ**

Енергозбереження стає пріоритетом в архітектурі через значний вклад цієї сфери у світове споживання ресурсів. Будівлі використовують понад половину світової електроенергії та близько третини всієї енергії, що робить їх одними з найбільш енерговитратних [1].

Прогнози Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) вказують на можливе збільшення енергоспоживання будівель на 50% до 2050 року, якщо не буде вжито заходів щодо підвищення енергоефективності. Освітлення відіграє ключову роль у цій картині, споживаючи 11–21% усієї електроенергії у житлових та комерційних об'єктах. Це наголошує на необхідності оптимізації управління освітленням для зниження витрат та забезпечення комфорту [2].

Сучасні технології пропонують інноваційні рішення, включаючи розумні системи освітлення, які поєднують світлодіодні технології (LED) з інформаційно-комунікаційними системами, такими як датчики руху. Ці системи адаптуються до умов, таких як наявність людей та рівень природного освітлення, що дозволяє економити електроенергію та покращувати якість життя [3].

Автоматизація керування освітленням стає важливою частиною концепції "розумних будівель", дозволяючи динамічно налаштовувати освітлення залежно від умов довкілля. Проте впровадження розумних систем освітлення стикається з проблемами, включаючи складність управління безліччю джерел світла, високі вимоги до безпеки та економічних обмежень. Крім того, бездротові технології можуть збільшити затримки передачі даних та знизити якість освітлення [4].

Для ефективного управління світлодіодними системами у складних умовах необхідний системний підхід, включаючи технічну, економічну та організаційну оптимізацію. Розроблена інтелектуальна система освітлення підходить для різних типів будівель, таких як офіси та навчальні заклади. Вона включає світильники, датчики та розподілену бездротову сенсорну мережу (WSN). Кожен світильник регулює рівень освітлення з урахуванням даних про денне світло та присутність людей. Датчики навколишнього

освітлення, які розміщені на світильниках біля вікон, вимірюють рівень природного світла і передають цю інформацію через мережу.

Щоб дистанційно ввімкнути або погасити світло, замість клавiші настiнного вимикача використовують панель управління, планшет або особистий смартфон з встановленим відповідним ПЗ (рис. 1). При автономній роботі систему освітлення зазвичай контролюють за допомогою різних керуючих датчиків. Наприклад, встановлюють датчик руху, доповнений датчиком освітленості в приміщенні [5].

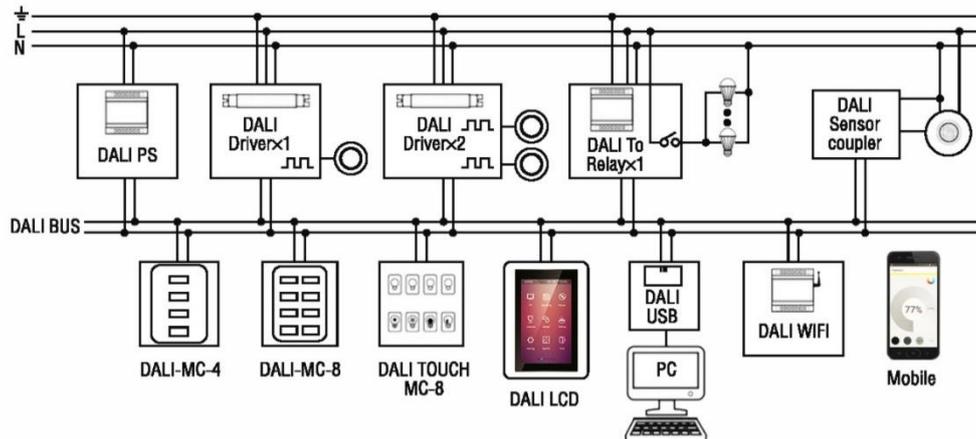


Рисунок 1 – Приклад типової структурної схеми управління на базі DALIPro

Для визначення присутності людей використовуються пасивні інфрачервоні (PIR) датчики та мікро-радарні сенсори, що працюють на основі ефекту Доплера. Для підвищення точності та надійності виявлення було розроблено алгоритм, який поєднує дані від обох типів датчиків. Система організована у вигляді розподіленої WSN, де кожен сенсорний модуль є окремим вузлом мережі. Запропонована інтелектуальна система освітлення забезпечує значне скорочення енергоспоживання в умовах реальної експлуатації, підвищуючи її ефективність, так і комфорт для користувачів [6].

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Smith, J., & Brown, K. Smart Home Lighting Systems: Integration and Energy Efficiency. London: TechPress, 2019. – 210 p.
2. Johnson, R. IoT-Based Solutions for Smart Home Automation. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2020. – 16(4): 2152–2165.
3. Василенко І.І., Шевченко О.М. Системи енергозбереження у сучасних будівлях. Львів: Вид-во ЛНУ, 2018. – 185 с.
4. Lee, H., & Park, M. Energy Optimization in Smart Lighting Systems with Adaptive Sensors. Energy and Buildings, 2021. – 230: 110900.

5. Коваленко В.П. Технології автоматизації в інтелектуальних будівлях. Київ: Видавництво КПІ, 2022. – 240 с.

6. 6. Raspberry Pi Foundation. Getting Started with Raspberry Pi for Smart Home Applications. Cambridge, 2020. – 180 p.

## **DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT LIGHTING CONTROL SYSTEM**

*S. Kyslytsia, PhD (Engineering), Associate professor,*

*M. Mazhara, postgraduate student,*

*Y. Yurchenko, student,*

*V. Amelkina, student*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

УДК 621.745

О.В. Корнійчук, магістрант,

Н.В. Єрмілова, к.т.н., доцент

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

## МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ФУРМИ У СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

В роботі досліджується електропривод механізму для контролю параметрів плавлення сталі. Об'єктом дослідження є сам процес плавлення сталі, його характеристики, параметри та умови, які необхідно контролювати або регулювати під час виробництва [1, 4].

Основна увага зосереджується на розумінні процесу плавлення сталі, його особливостях та технологічних вимогах, які впливають на вибір, розробку та впровадження електроприводу для контролю цих параметрів.

У роботі детально розглянуто технологічний процес виплавки сталі у кисневому конвертері, зокрема етап вимірювання температури і відбору проб металу. Раніше ці операції виконували вручну, що збільшувало тривалість плавки та створювало додаткові ризики. Сучасні вимірювальні машини дозволяють повністю автоматизувати цей процес. Їх робота базується на переміщенні вимірювальної фурми за допомогою електроприводу [2].

Механізм переміщення являє собою спеціалізовану лебідку з електроприводом, яка забезпечує вертикальний рух фурми через отвір у накришному зонті конвертера (рис.1). Головним завданням механізму є швидке та точне занурення вимірювального зонда у розплав металу на задану глибину без необхідності зупинки продувки чи нахилу конвертера [3].

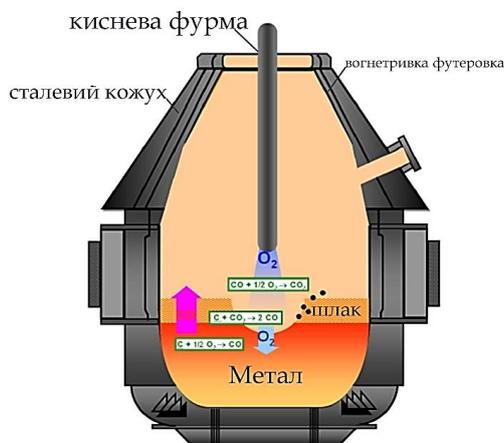


Рис. 1 – Кисневий конвертер: введення вимірювальної фурми для контролю параметрів плавлення сталі

В ході аналізу технологічних умов були сформульовані основні вимоги до електроприводу підйомника вимірювальної фурми. Виходячи з вимог технології, був обрахований та обраний двигун постійного струму типу Д814У2 на номінальну напругу 440В.

З урахуванням номінальних даних двигуна і вимог технологічного процесу був обраний комплектний тиристорний електропривод КТЕ-320 / 440-131-23УХЛ4. Тиристорний перетворювач, який використовується для живлення ланцюга якоря двигуна, підключається до мережі змінного струму напругою 380 В через трансформатор серії вузлів ЦЗП-250/0,7. Для живлення обмотки збудження двигуна та інших внутрішніх вимог був обраний перетворювач типу КТЕ-10/220-9-УХЛ4 з живленням від реактора обмеження струму з напругою 220 В змінного струму. Проаналізовано керуючі характеристики перетворювача потужності, що довело доцільність його встановлення.

Управління приводом здійснюється на базі модуля SINAMICS DCM. Розроблено структурну схему системи керування автоматичним електроприводом, розраховані основні параметри системи ТП-Д (тиристорний перетворювач-двигун) і всі необхідні параметри контуру управління, коефіцієнтів зворотного зв'язку і датчиків. Враховано технічні можливості функціональних блоків модуля керування SINAMICS DCM, запропоновано автоматизовану вимірювальну систему. Програмне управління електроприводом забезпечує всі необхідні налаштування електроприводу фурми. [5]

Проведена модернізація системи електроприводу дозволила суттєво підвищити точність позиціонування фурми та зменшити динамічні навантаження на механізм. Це забезпечило стабільність процесу відбору проб, підвищило надійність обладнання та сприяло загальному скороченню часу циклу плавлення.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Сидоренко О.М., Коваленко Л.В. Контроль параметрів плавлення у сучасній металургії. // *Металургійний вісник*. - 2019. - Т.6, №4. - С. 56-67
2. Павленко М.М. Використання електроприводів у промислових процесах. // *Інженерні технології*. - 2021. - Т.11, №3. - С. 22-33
3. Романюк Д.Д. Автоматизація процесів плавлення сталі на сучасних підприємствах. - Харків: Основа, 2016. - 215 с
4. Hughes, E., Hiley, J., Brown, K., & Smith, I. M. *Electrical and Electronic Technology (12th ed.)*. Published by Pearson. Edinburgh (May 23, 2016). © 2016
5. Cadick, J., Capelli-Schellpfeffer, M., & Neitzel, D. (2019). *Electrical Safety Handbook (5th ed.)*. McGraw-Hill Education. – 608 p

**MODERNIZATION OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE MEASURING  
TUNNELING MOVEMENT MECHANISM IN STEEL MOLDING  
PRODUCTION**

*O. Kornichuk, undergraduate,*

*N. Yermilova, Ph.D., Associate professor*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 621.311.24:681.5:622.691**

***В.В. Крицький**, науковий керівник, викладач спеціальних дисциплін,  
спеціаліст вищої категорії, викладач-методист,*

***Р.С. Шпигун**, студент 4-го курсу*

*Полтавський фаховий коледж нафти і газу*

*Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія  
Кондратюка»*

## **ТЕЛЕМЕХАНІКА МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ У КОНТЕКСТІ ЦИФРОВІЗАЦІЇ НАФТОГАЗОВОЇ ГАЛУЗІ**

Сучасні технічні засоби телемеханіки відіграють ключову роль у забезпеченні надійного контролю та управління виробничими процесами в нафтогазовій галузі, зокрема під час транспортування, розподілу та підготовки природного газу. Телемеханіка забезпечує перетворення та передавання на відстань технологічної інформації з мінімальними витратами на канали зв'язку за одночасного збереження високої точності, надійності та стійкості. Це особливо актуально для магістральних газопроводів, компресорних станцій і газорозподільних об'єктів, які характеризуються значною протяжністю, територіальною розосередженістю та підвищеними вимогами до промислової безпеки.

За функціональним призначенням телемеханічні системи традиційно поділяються на системи телевиміру, телесигналізації та телеуправління. У нафтогазовій галузі системи телевиміру забезпечують дистанційний контроль основних параметрів технологічного процесу, таких як витрата, тиск, температура та вологість газу. Системи телесигналізації призначені для передавання інформації про стан обладнання, положення запірної арматури та виникнення аварійних або передаварійних ситуацій. Системи телеуправління дозволяють дистанційно керувати лінійними кранами, регулювальною арматурою та окремими елементами технологічних схем без безпосередньої присутності персоналу на об'єкті.

Класична телемеханічна система складається з передавального та приймального пристроїв, з'єднаних каналом зв'язку. В історичному аспекті на магістральних газопроводах застосовувалися переважно аналогові телемеханічні системи, що базувалися на передаванні сигналів постійного струму або частотних сигналів низької частоти. Спеціалізовані телевимірювальні пристрої для газотранспортних систем тривалий час серійно не виготовлялися, тому використовувалися прилади, розроблені для інших галузей промисловості. До них належали телевимірювальні пристрої випрямної та індукційно-випрямної систем, у яких вимірювані величини перетворювалися в сигнал постійного струму та передавалися по кабельних або повітряних лініях зв'язку.

Пристрої індукційно-випрямної системи, зокрема з використанням сельсинів, забезпечували синхронний зв'язок між передавальними та приймальними елементами. Індукційні перетворювачі здійснювали перетворення кутового переміщення ротора в напругу змінного струму, пропорційну вимірюваній величині, що дозволяло дистанційно контролювати рівень, тиск або потужність. Для контролю електричних параметрів на компресорних станціях застосовувалися ватметри з індукційними перетворювачами для вимірювання активної та реактивної потужності в трифазних мережах, які підключалися через вимірювальні трансформатори струму та напруги. Стабільність роботи таких систем забезпечувалася ферорезонансними стабілізаторами напруги, що дозволяло обмежити похибку вимірювань у допустимих межах.

Важливим етапом розвитку телемеханіки стали низькочастотні телевимірювальні системи, в яких інформація передавалася у вигляді частотного сигналу в заданому діапазоні. Це дозволило підвищити відстань передачі каналів зв'язку, що було особливо важливо для протяжних ділянок магістральних газопроводів. В якості приймальних пристроїв таких систем застосовувалися магнітоелектричні прилади зі шкалами, проградуєваними безпосередньо в одиницях контрольованих технологічних параметрів.

На практиці експлуатації магістральних газопроводів ефективність телемеханіки досягається за умови її раціонального поєднання з місцевими засобами автоматики. Газорозподільні станції та контрольні-регулювальні пункти оснащуються засобами телевиміру витрати газу (як сумарної, так і за окремими споживачами), телевиміру тиску газу на вході та виході, а також системами аварійної й попереджувальної телесигналізації. На відводах від магістральних газопроводів додатково реалізується дистанційний контроль положення лінійних кранів і, за необхідності, телеуправління ними.

У системі центрального диспетчерського управління телемеханіка забезпечує узагальнений контроль стану всієї газотранспортної системи. На головних спорудах і компресорних станціях здійснюється дистанційний контроль витрати, тиску та якості газу, кількості працюючих компресорних агрегатів і фіксація аварійних зупинок. На лінійних ділянках магістральних газопроводів телесигналізація дозволяє оперативно виявляти факти закриття лінійних кранів або інші нештатні ситуації, що є критично важливим для мінімізації наслідків аварій.

В умовах сьогодення телемеханічні системи в нафтогазовій галузі зазнали суттєвої модернізації. Провідні нафтогазові компанії та оператори газотранспортних систем активно впроваджують цифрові датчики витрати, тиску й температури, програмовані логічні контролери та SCADA-системи, які забезпечують централізоване диспетчерське управління в реальному часі. Передавання даних здійснюється з використанням оптоволоконних

ліній зв'язку, радіорелейних і стільникових мереж, що значно підвищує надійність і швидкодію систем телемеханіки.

Окрему увагу в сучасних умовах приділяють впровадженню технологій Industrial Internet of Things, які дозволяють здійснювати безперервний моніторинг стану обладнання, прогнозувати поломки та оптимізувати режими роботи газотранспортних об'єктів. Досвід експлуатації магістральних газопроводів свідчить, що перехід від аналогових телемеханічних систем до цифрових комплексів дозволяє знизити експлуатаційні витрати, підвищити точність вимірювань, скоротити час реагування на аварійні ситуації та підвищити рівень промислової й екологічної безпеки.

Таким чином, телемеханіка є невід'ємною складовою сучасної нафтогазової інфраструктури. Її подальший розвиток тісно пов'язаний із цифровізацією виробничих процесів, інтеграцією автоматизованих систем управління та впровадженням інтелектуальних технологій, що відповідає актуальним викликам і вимогам нафтогазової галузі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. <https://grmu.com.ua/wp-content/uploads/2023/04/> [Електронний ресурс]
2. [https://trrkk.nmu.org.ua/ua/peda\\_job/185](https://trrkk.nmu.org.ua/ua/peda_job/185) [Електронний ресурс]
3. <https://forca.com.ua/knigi/pravila/pravila-tehnichnoyi-eksplyuatsiyi-magistral> [Електронний ресурс]
4. Єрмілова Н.В. Навчальний посібник з дисципліни «Основи автоматизації об'єктів газової і нафтової промисловості» для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Н.В. Єрмілова; за загальною редакцією Н.В. Єрмілової. – Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка», 2023. – 127 с.

#### TELEMECHANICS OF GAS MAINLINES IN THE CONTEXT OF DIGITIZATION OF THE OIL AND GAS INDUSTRY

*V. Krytsky, scientific supervisor, teacher of special disciplines, specialist of the highest category, teacher-methodologist,*

*R. Shpygun, 4th year student*

*Poltava Professional College of Oil and Gas*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

**УДК 621.34**

*А.Я. Кучеров, магістрант,*

*Р.В. Захарченко, к.т.н., доцент,*

*А.І. Криворот, к.т.н., доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ТРЕКЕРІВ У ПОРІВНЯННІ ЗІ СТАЦІОНАРНИМИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ СИСТЕМАМИ**

Зростання попиту на електричну енергію, підвищення екологічних вимог та необхідність диверсифікації джерел енергії зумовлюють активний розвиток відновлюваної енергетики, зокрема фотоелектричних систем [1, 2]. Одним із ключових факторів, що визначає ефективність сонячних електростанцій, є спосіб орієнтації фотоелектричних модулів відносно Сонця.

У роботі виконано порівняльний аналіз стаціонарних і трекерних фотоелектричних систем з урахуванням кліматичних умов Полтавської області. Показано, що стаціонарні системи з фіксованим кутом нахилу панелей не забезпечують повного використання потенціалу сонячного випромінювання через добові та сезонні зміни положення Сонця, що призводить до втрат генерації у ранкові та вечірні години [3].

Розглянуто принцип дії та класифікацію сонячних трекерів, зокрема одновісних і двохвісних систем. Встановлено, що застосування трекерних установок дозволяє підтримувати оптимальний кут падіння сонячних променів на поверхню фотоелектричних модулів упродовж світлового дня, що забезпечує збільшення річного виробітку електроенергії на 25–45 % порівняно зі стаціонарними системами залежно від типу трекера та рівня інсоляції [4–6].

У межах дослідження виконано інженерні розрахунки енергоспоживання житлового будинку та визначено необхідну потужність фотоелектричної установки для стаціонарної та трекерної конфігурацій. Обґрунтовано вибір основного обладнання, зокрема сонячних панелей, інвертора та акумуляторних батарей, з урахуванням їх технічних характеристик і режимів експлуатації [7].

Окрему увагу приділено застосуванню двосторонніх (біфасціальних) сонячних панелей у складі трекерних систем. Показано, що поєднання двоосьових трекерів із біфасціальними модулями дозволяє додатково використовувати енергію відбитого та розсіяного сонячного випромінювання, що забезпечує підвищення сумарної генерації на 5–15 % без збільшення встановленої площі фотоелектричної системи [8, 9].

За результатами техніко-економічного аналізу встановлено, що хоча трекерні системи мають вищі початкові капітальні витрати, у довгостроковій перспективі вони характеризуються нижчою питомою вартістю виробленої електроенергії за рахунок підвищеного коефіцієнта використання встановленої потужності та більш рівномірного профілю генерації [10]. Це робить трекерні фотоелектричні системи доцільними для застосування в регіонах із достатнім рівнем сонячної інсоляції.

Отримані результати можуть бути використані при проектуванні побутових і малих комерційних фотоелектричних систем з метою підвищення їх енергетичної та економічної ефективності.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Boyle G. *Renewable Energy: Power for a Sustainable Future*. Oxford: Oxford University Press, 2012.
2. International Energy Agency. *Renewables 2023: Analysis and Forecast*. Paris: IEA, 2023.
3. Duffie J.A., Beckman W.A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. 4th ed. New York: Wiley, 2013.
4. Kalogirou S.A. *Solar energy engineering: processes and systems*. Academic Press, 2014.
5. NREL. *Best Practices for Solar Tracking Systems*. National Renewable Energy Laboratory, USA, 2020.
6. Abdallah S., Nijmeh S. *Two-axis sun tracking system with PLC control*. *Energy Conversion and Management*, 2004.
7. Masters G.M. *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. Wiley, 2013.
8. Guo S. et al. *Energy yield analysis of bifacial PV modules with tracking systems*. *Solar Energy*, 2019.
9. Pelaez S.A. et al. *Bifacial PV system performance and modeling*. *Progress in Photovoltaics*, 2020.
10. Lazard. *Levelized Cost of Energy Analysis – Version 16.0*, 2023.

### RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF USING SOLAR TRACKER COMPARED TO STATIONARY PHOTOELECTRIC SYSTEMS

*A. Kucherov, master's student,*

*R. Zakharchenko, Ph.D., associate professor,*

*A. Kryvorot, Ph.D., associate professor*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

УДК 004.056.55:004.056.53:004.021:519.8:004.891

*Ю.В. Кучма, к.т.н., доцент*

*ТОВ ПВН «Університет сучасних технологій»*

## **ПОСТКВАНТОВА АВТЕНТИФІКАЦІЯ У ФЕДЕРАЦІЯХ ІДЕНТИЧНОСТЕЙ З АДАПТИВНИМИ ПОЛІТИКАМИ БЕЗПЕКИ**

У тезах доповіді розглядається науково-практична проблема забезпечення безпечної автентифікації у мультидоменних федераціях ідентичностей в умовах стрімкого розвитку квантових обчислень та ускладнення ландшафту кіберзагроз. Сучасні системи управління ідентичностями базуються переважно на криптографічних алгоритмах з відкритим ключем, криптостійкість яких гарантується складністю задач факторизації та дискретного логарифмування. Однак поява практично застосовних квантових обчислювальних систем створює фундаментальну загрозу для таких алгоритмів, що безпосередньо впливає на надійність механізмів автентифікації та довіри у цифрових екосистемах.

Особливої вразливості зазнають мультидоменні федерації ідентичностей, у межах яких здійснюється передавання автентифікаційних тверджень і токенів між різними організаційними доменами. У таких середовищах компрометація криптографічних примітивів одного з учасників федерації може мати каскадний ефект і призвести до порушення безпеки всієї довірчої інфраструктури. За цих умов традиційні підходи до багатофакторної автентифікації, що ґрунтуються на статичних політиках доступу, виявляються недостатньо ефективними, оскільки не враховують динамічний контекст взаємодії, поведінкові аномалії користувачів та змінний рівень довіри між доменами.

Паралельно з квантовими загрозами зростає складність сучасних атак, що характеризуються адаптивністю, багатоступеневістю та використанням соціотехнічних методів. Це обумовлює необхідність переходу від жорстко фіксованих механізмів автентифікації до адаптивних моделей, здатних у режимі реального часу змінювати вимоги доступу відповідно до поточного рівня ризику. У цьому контексті перспективним є застосування методів машинного навчання для аналізу контекстних і поведінкових характеристик автентифікаційних сесій та автоматизованого керування політиками безпеки.

У доповіді обґрунтовується доцільність інтеграції постквантових криптографічних алгоритмів у механізми багатофакторної автентифікації у складі мультидоменних федерацій ідентичностей. Розглядаються підходи до використання гібридних криптографічних схем, що поєднують класичні та постквантові алгоритми обміну ключами і цифрового підпису, зокрема на основі алгоритмів Kyber, Dilithium та Falcon. Такий підхід дозволяє

забезпечити поступовий перехід до постквантової стійкості без порушення сумісності з чинними стандартами та протоколами автентифікації.

Запропонована концептуальна архітектура передбачає інтеграцію постквантової багатофакторної автентифікації з протоколами OpenID Connect, SAML та FIDO2/WebAuthn, що широко використовуються у федеративних середовищах. Ключовим елементом архітектури є інтелектуальний модуль керування політиками безпеки, який здійснює оцінювання ризику автентифікації на основі контекстних параметрів, історії поведінки користувача, характеристик пристрою та рівня довіри до домену-постачальника послуг. На основі отриманої оцінки формується адаптивна політика доступу, що визначає необхідну кількість і типи автентифікаційних факторів.

Для формалізації процесу прийняття рішень щодо автентифікації використовується модель керування, орієнтована на ризик, яка дозволяє балансувати між рівнем безпеки та зручністю користувача. У межах цієї моделі постквантові криптографічні примітиви застосовуються диференційовано, з урахуванням критичності ресурсу та поточного рівня загроз. Це дає змогу мінімізувати додаткові затримки автентифікації та обчислювальні витрати, зберігаючи при цьому високий рівень криптографічної стійкості для високоризикових сценаріїв доступу.

У роботі також розглядаються критерії оцінювання ефективності запропонованого підходу, зокрема з позицій стійкості до квантових атак, латентності процесів автентифікації, масштабованості у мультидомених середовищах та стабільності динамічних політик безпеки. Показано, що застосування постквантових алгоритмів у поєднанні з інтелектуальним керуванням політиками дозволяє підвищити загальний рівень довіри у федераціях ідентичностей без суттєвого погіршення користувацького досвіду.

В цілому отримані результати мають теоретичне та практичне значення для розвитку систем управління ідентичностями нового покоління. Запропонований підхід може бути використаний при побудові Zero Trust Identity Fabric, а також при розробленні галузевих і національних рекомендацій щодо впровадження постквантових механізмів автентифікації. У перспективі це створює підґрунтя для формування стійкої до квантових загроз інфраструктури цифрової довіри, здатної адаптуватися до динамічних умов сучасного кіберпростору.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. *NIST: Post-Quantum Cryptography (PQC) Project i NIST Releases First 3 Finalized Post-Quantum Encryption Standards*, <https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography>.

2. *National Institute of Standards and Technology. (2024, August 13). NIST releases first 3 finalized post-quantum encryption standards. <https://www.nist.gov/news-events/news/2024/08/nist-releases-first-3-finalized-post-quantum-encryption-standards>.*

**POST-QUANTUM AUTHENTICATION IN IDENTITY FEDERATIONS WITH ADAPTIVE SECURITY POLICIES**

*Y. Kuchma, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

*Limited Liability Company Private Higher Education Institution «University of Modern Technologies»*

УДК 004.42

Л.І. Леві, д.т.н., професор,

О.Ю. Білоус, магістрант

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ

Імітаційні дослідження електроприводу насоса проводяться з метою перевірки його працездатності в наступних основних технологічних режимах: запуск на будь-яку робочу швидкість насоса; перехід з однієї робочої швидкості насоса на іншу та зупинка насоса в режимі електричного гальмування. У процесі імітаційних досліджень розглянемо такі режими роботи системи електропривод – насос [1, 2]:

- пуск електроприводу на мінімальну робочу швидкість;
- пуск електроприводу з мінімальної робочої швидкості на максимальну;
- гальмування електроприводу з максимальною швидкістю до мінімальної;
- зупинка електроприводу.

Як приклад розглянуто відпрацювання електроприводом насоса наступного циклу:

- пуск на мінімальну частоту  $f_{i\text{мін}} = 5 \text{ Гц}$ ;
- перехід на максимальну робочу швидкість насоса  $f_{p\text{макс}} = 50 \text{ Гц}$ ;
- перехід на мінімальну частоту  $f_{i\text{мін}} = 5 \text{ Гц}$ ;
- зупинка електроприводу.

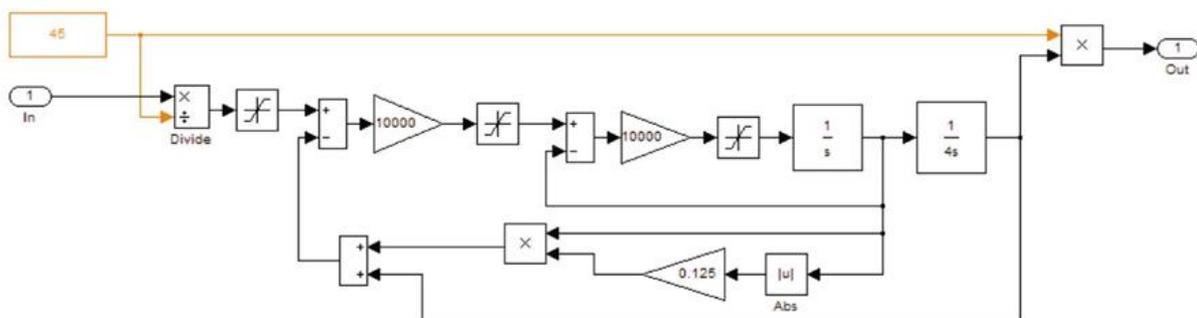


Рисунок 1 – Імітаційна модель задатчика інтенсивності з S-подібною характеристикою

Застосування задатчика інтенсивності з S-подібною характеристикою додатково підвищує плавність перехідних процесів швидкості  $\omega(t)$ , моменту  $M(t)$ , фазного струму двигуна  $I_{\phi}(t)$ .

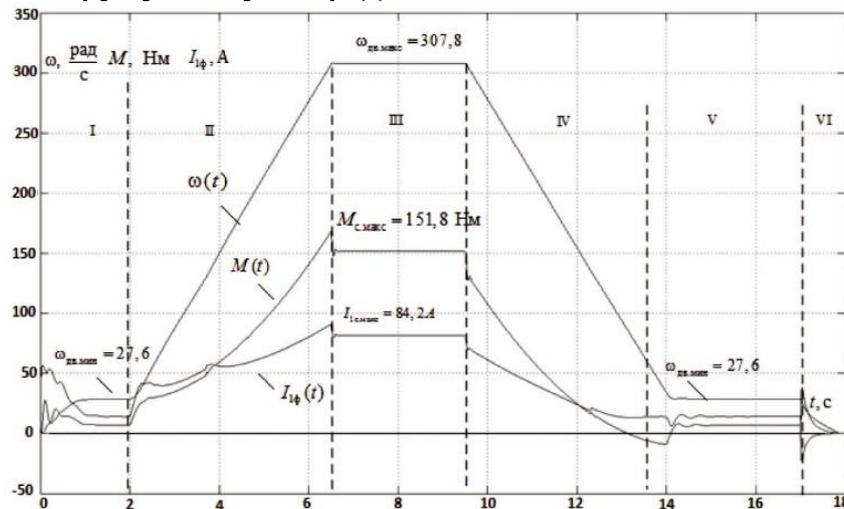


Рисунок 2 – Результати імітаційних досліджень відпрацювання електроприводом насоса заданого циклу з лінійним ЗІ за часом  $T_{\text{зі}} = 3$  с: графіки перехідних процесів – швидкості  $\omega(t)$ , моменту  $M(t)$ , фазного струму двигуна  $I_{\phi}(t)$

Отримані результати імітаційних досліджень доводять, що частотно-регульований асинхронний електропривод насоса під «вентиляторним» навантаженням при скалярному керуванні із законом керування  $U_1/f_1^2 = \text{const}$  і коригуванням вольт-частотної характеристики забезпечує пуск електроприводу з початкової частоти та потрібний діапазон регулювання швидкості насоса. Перехідні процеси в електроприводі особливо із задатчиком інтенсивності з S-подібною характеристикою протікають плавно з обмеженням динамічного моменту струмів двигуна і перетворювача.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Коньшин В.І. «Водопідготовка. Інженерні розрахунки схем водопідготовки в енергетиці» [Електронний ресурс]: навч. посіб. для спеціальностей: 142 «Енергетичне машинобудування», 143 «Атомна енергетика» / укладач В.І. Коньшин. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 157 с.
2. Моделирование систем управления в SIMULINK: навч. посібник / [В.О. Богомоллов, О.Г. Гурко, В.І. Клименко, Д.М. Леонтьев, О.М. Красюк]; М-во освіти і науки України. Харків: ХНАДУ, 2018. 220 с.

**RESEARCH OF THE ELECTRIC DRIVE CONTROL SYSTEM OF A  
WATER TREATMENT PUMPING STATION**

*L. Lievi, ScD, Professor,*

*O. Bilous, Master's student,*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

УДК 004.8

*Д.С. Лісняк, магістрант,*

*О.Є. Петренко, к.т.н., доцент*

*Харківський національний університет радіоелектроніки*

## ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ФІНАНСОВИХ СИСТЕМ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ

В роботі досліджуються засоби підвищення безпеки фінансових систем в умовах складності та різноманітності атак. Для створення ефективних засобів протидії атакам, в роботі розглянуто технології, які дозволяють визначити аномальні дії при здійсненні фінансових транзакцій на основі аналізу величини транзакцій, IP-адреси, мітки часу, дій користувача, частоти запитів, тривалості сесій [1, 2, 3, 4]. В дослідженні для аналізу використано набір даних від Канадського інституту кібербезпеки IoT 2023. Вказаний набір даних містить дані про атаки разом з легальним трафіком, що дозволяє на основі поведінкового аналізу виявити аномалії. В роботі розглянуто типи з'єднань у мережевому трафіку. Кожний тип з'єднань містить часові мітки підключення, унікальні ідентифікатори, IP адреси хостів номери портів, тривалість та протоколи з'єднань, кількість байтів, що передані хостом.

Гістограма, яка представлена на рисунку 1, відображає розподіл кількості сесій за часовими мітками та свідчить про нерівномірність навантаження в часі та наявність аномальних процесів у мережевій взаємодії. Такі сплески можуть вказувати на **масові автоматизовані транзакції, бот-атаки або тестування вразливостей банківських сервісів.**

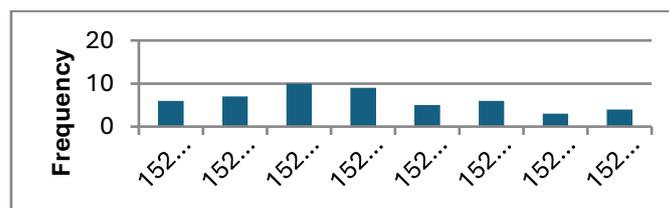


Рис. 1 - Розподіл часових міток підключення

На рисунку 2 представлено гістограму кількості сесій за обсягом переданих даних. Для систем виявлення шахрайства подібна інформація дозволить за допомогою штучного інтелекту розрізняти «нормальні» обсяги даних і аномальні, що може свідчати про витoki інформації, несанкціоновані перекази.

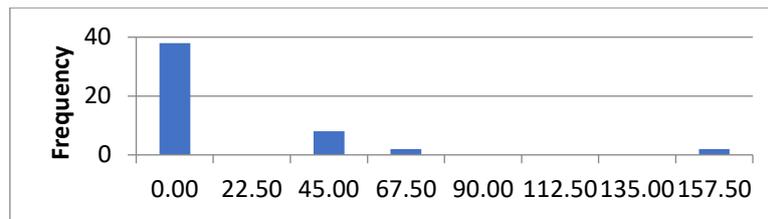


Рис. 2 - Кількість сесій за обсягами переданих даних

На рисунку 3 представлений поведінковий аналіз трафіку. Типи з'єднань – “Dd”, “Sr” та “ShADar” – зазвичай відповідають перерваним сесіям, повторним запитам або з'єднанням із затримкою. Вони є маркерами поведінкових аномалій, які штучний інтелект може розпізнавати як потенційно шахрайські.

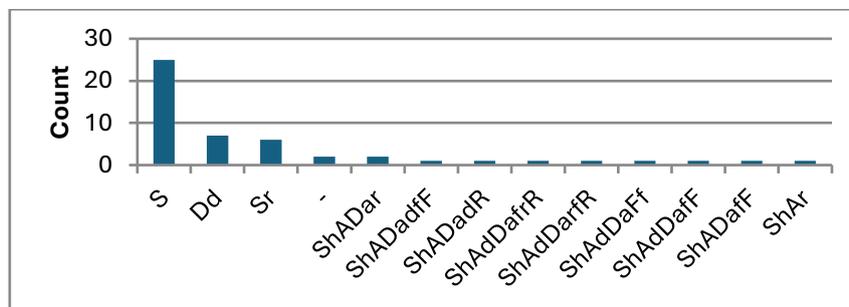


Рис. 3 - Розподіл типів історій з'єднань у мережевому трафіку.

Таким чином, для виявлення шахрайства в фінансових сферах слід застосовувати засоби виявлення аномальної поведінки, які поєднують аналіз статистичних та поведінкових характеристик користувача. Вдосконалення методів виявлення аномальної поведінки в мережевому трафіку можливо шляхом поєднання кількісних і якісних характеристик, серед яких зміна часового інтервалу проведення транзакцій, зміна пристрою, зміна геолокації, частота запитів. Їх застосування дозволить побудувати поведінкові профілі користувачів та відслідковувати підозрілі дії у мережі.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Гайдур Г.І., *Виявлення аномалій трафіку в інформаційних системах. // Телекомунікаційні та інформаційні технології. - 2021. - №4(73). - С. 41-53.*
2. Усік П.С., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А., Улічев О.С., Смірнов С.А. *Дослідження технологій забезпечення AI підтримки виявлення шахрайства в фінансових системах. // Кібербезпека. Освіта, наука, техніка. - 2025. - №1(29). - С. 704-716.*

3. Ветошко І. П. Системи і методи ідентифікації шкідливих патернів у мережевому трафіку (аналітика та практичні кейси). // Наукові записки ДУІКТ. - 2025. - № 1(7).

4. T. Mazhar, D. B. Talpur, T. Al Shloul, Y. Y. Ghadi, I. Haq, I. Ullah, K. Ouahada, H. Hamam *Analysis of IoT Security Challenges and Its Solutions Using Artificial Intelligence. // Brain Sci. - 2023. -№ 13. -P. 683*

## **ENHANCING THE SECURITY OF FINANCIAL SYSTEMS THROUGH THE APPLICATION OF INTELLIGENT DATA ANALYSIS**

*D. Lisniak, undergraduate,*

*O. Petrenko, Ph.D., Associate professor*

*Kharkiv National University Of Radio Electronics*

УДК 621.396.67:004.7:004.89

*С.В. Мигаль, аспірант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ІНТЕЛЕКТУАЛЬНО КЕРОВАНІ МЕРЕЖІ РАДІОДОСТУПУ 6G НА ОСНОВІ SDN ТА ГЕТЕРОГЕННИХ АРХІТЕКТУР**

**Вступ.** Стрімкий розвиток бездротових технологій зв'язку зумовлює необхідність переходу до мереж шостого покоління (6G), які мають забезпечити функціонування принципово нових сервісів і застосунків. До таких застосунків належать автономні транспортні системи, тактильний інтернет, телемедицина реального часу, індустриальна автоматизація та масові кіберфізичні системи. У цьому контексті особливого значення набуває проєктування мереж радіодоступу (RAN) 6G, оскільки саме цей рівень безпосередньо визначає показники пропускної здатності, затримки, надійності та енергоефективності всієї системи зв'язку. Незважаючи на те, що стандарти 6G на етапі формування, уже сьогодні визначено основні напрями досліджень і технологічні підходи, які мають стати основою майбутніх мереж [1].

**Ключові аспекти проєктування 6G.** Одним з визначальних факторів розвитку 6G є використання значно ширших спектральних ресурсів. Передбачається активне залучення субтерагерцових і терагерцових частотних діапазонів, що дозволить досягати швидкостей передавання даних до рівня терабіт за секунду. Водночас робота в таких діапазонах потребує розроблення нових методів управління спектром, зокрема динамічного поділу спектру, агрегації несучих і високоточних алгоритмів формування променя.

Важливу роль у 6G відіграватимуть технології Massive MIMO та адаптивного формування променя. Застосування великих антенних решіток на базових станціях і користувацьких пристроях забезпечує просторове мультиплексування та значне підвищення спектральної ефективності. У поєднанні з інтелектуальними алгоритмами керування променями це дозволяє зменшувати рівень завад, підвищувати якість сигналу та ефективно обслуговувати велику кількість користувачів у щільних міських середовищах.

Ще одним характерним напрямом розвитку є впровадження надщільних мереж радіодоступу. Для розв'язання цих проблем у мережах 6G передбачається застосування динамічного об'єднання базових станцій, кооперативної передачі та централізованого інтелектуального управління.

**Гетерогенні та інтелектуальні мережі.** Мережі радіодоступу 6G будуть гетерогенними за своєю природою та поєднуватимуть наземні, супутникові та повітряні сегменти зв'язку. Така інтеграція забезпечить

тривимірне покриття та безперервне підключення користувачів незалежно від їх місцезнаходження. Проектування гетерогенних 6G потребує розроблення нових протоколів і алгоритмів для безшовного перемикання між різними технологіями доступу, ефективною маршрутизації трафіку та оптимального вибору мережі.

Особливе місце в архітектурі 6G займають інтелектуальні та адаптивні механізми управління. Алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання розглядаються як базовий інструмент для проактивної оптимізації мережі, прогнозування навантажень, динамічного розподілу ресурсів і самовідновлення у разі відмов. Це дозволяє мережі адаптуватися до змінних умов експлуатації та забезпечувати індивідуалізовані сервіси з урахуванням вимог застосунків [2].

**Наземна мережа та ядро 6G.** Наземна мережа є центральним елементом багаторівневої архітектури 6G та забезпечує обробку і маршрутизацію трафіку від усіх рівнів системи. Її структура включає мережу радіодоступу та ядро мережі, яке будується на основі парадигм SDN і NFV. Програмованість мережі дозволяє динамічно конфігурувати ресурси та сервіси відповідно до поточних вимог трафіку.

Застосування віртуалізації мережних функцій і оркестрації забезпечує гнучкість, масштабованість та ефективне використання обчислювальних ресурсів. Сервіс-орієнтована архітектура ядра мережі дозволяє формувати мережні зрізи, оптимізовані під конкретні сценарії використання, із гарантованими показниками якості обслуговування.

**Порівняння вимог 5G та 6G.** Порівняльний аналіз мереж 5G і 6G свідчить про суттєве посилення вимог до ключових параметрів. Для 6G передбачається зменшення затримки до рівня 0,1 мс, підвищення швидкості передавання даних до 1 Тбіт/с, збільшення щільності підключень і підтримка мобільності зі швидкостями понад 1000 км/год. Особлива увага приділяється підвищенню енергоефективності, надійності, доступності та безпеки мереж.

**Висновки.** Проектування мереж радіодоступу 6G є комплексним науково-технічним завданням, що потребує поєднання нових радіотехнологій, інтелектуальних методів управління та гнучких архітектурних рішень. Перехід до 6G не лише посилює вимоги, характерні для мереж 5G, а й формує основу для створення високонадійних, адаптивних і енергоефективних систем зв'язку, здатних забезпечити роботу критично важливих сервісів майбутнього.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Ye, F., Li, J., Zhu, P., Wang, D., You, X. *Intelligent Hierarchical NOMA-Based Network Slicing in Cell-Free RAN for 6G Systems. IEEE Transactions on*

*Wireless Communications*. 2024. Vol. 23, is. 5. Pp. 4724–4737. Doi: 10.1109/TWC.2023.3321717

2. Chowdhury, M. Campaign: A Personalized Offloading, Semantic Communication, Latency-aware Resource Slicing and SFC Orchestration for SDN and NFV Empowered 6G Serverless Computing Network. *IAENG International Journal of Computer Science*. 2024. Vol. 51, is. 10. Pp. 1480–1515. URL: <https://www.iaeng.org/journals.html>

**INTELLIGENTLY MANAGED 6G RADIO ACCESS NETWORKS  
BASED ON SDN AND HETEROGENEOUS ARCHITECTURES**

*S. Myhal, postgraduate*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

УДК 621.391.4:004.85

*І.П. Плюйко, аспірант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **КОМБІНОВАНІ ДЕТЕРМІНОВАНІ ТА АДАПТИВНІ МОДЕЛІ РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГІЇ У ВИСОКОШВИДКІСНИХ ЦИФРОВИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧІ**

Сучасний розвиток цифрових систем передачі інформації характеризується значним збільшенням обсягів переданої інформації, підвищенням вимог до надійності передачі та зростанням складності сигнально-завадової обстановки.

Одним із ключових аспектів підвищення ефективності таких систем є раціональне управління енергетичним потенціалом між інформаційними та синхронізуючими каналами [1].

Невірне розподілення енергетичних ресурсів призводить до зниження точності синхронізації, збільшення ймовірності помилок та зменшення пропускної здатності каналів [2].

**Актуальність дослідження** обумовлена тим, що сучасні цифрові системи, включаючи телекомунікаційні мережі, супутникові канали та мережі Інтернету речей, вимагають високої ефективності використання енергії для забезпечення стабільної та надійної передачі даних [3]. Оптимізація розподілу енергії між каналами дозволяє одночасно зменшити рівень енергоспоживання та покращити якість сигналу, що особливо важливо для систем із обмеженими ресурсами та мобільних пристроїв.

Розглянуто **моделі розподілу енергетичного потенціалу** як для класичних цифрових систем, так і для систем із високим рівнем паралельної обробки даних. Основні підходи включають [4]:

1. **Детерміновані моделі**, де розподіл енергії задається на основі відомих характеристик каналів та сигналів;
2. **Стохастичні моделі**, які враховують випадкові збурення та коливання сигналу;
3. **Адаптивні алгоритми**, що дозволяють змінювати розподіл енергії в реальному часі залежно від поточних параметрів каналу та рівня шумів.

Проведено **аналіз ефективності різних стратегій розподілу енергетичного потенціалу** з точки зору таких критеріїв: ймовірність помилок передачі, час встановлення синхронізації, енергоспоживання та пропускна здатність каналу. Зроблено висновок, що комбіновані підходи, які поєднують детерміновані та адаптивні алгоритми, дозволяють досягти найкращих результатів, забезпечуючи баланс між надійністю та енергоефективністю системи [5].

Окрему увагу приділено **методам математичної оптимізації**, зокрема використанню нелінійного програмування та евристичних алгоритмів для розподілу енергетичного ресурсу між інформаційними та синхронізуючими каналами. Запропоновані методи дозволяють моделювати реальні умови роботи системи та прогнозувати вплив різних факторів, таких як рівень шуму, інтерференція та характеристики апаратури.

**Практичне значення** роботи полягає у можливості використання розроблених моделей та алгоритмів для підвищення ефективності сучасних цифрових систем передачі, зменшення енергоспоживання та підвищення надійності синхронізації. Запропоновані підходи можуть бути застосовані в телекомунікаційних мережах, супутниковому зв'язку, мережах мобільного зв'язку 5G/6G, а також у високошвидкісних оптичних каналах передачі даних.

**Ключові результати дослідження:**

Розроблено математичні моделі оптимізації розподілу енергетичного потенціалу;

Визначено критерії ефективності розподілу енергії між інформаційними та синхронізуючими каналами;

Проведено порівняльний аналіз детермінованих, стохастичних та адаптивних методів;

Запропоновано алгоритми, що забезпечують високий рівень надійності передачі при мінімальному енергоспоживанні.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Ковальчук, О.В., Петренко, С.М. *Оптимізація енергетичних ресурсів у телекомунікаційних мережах*. Харків: ХНУРЕ, 2022. – 248 с.
2. Proakis, J.G., Salehi, M. *Digital Communications*. 6th ed. New York: McGraw-Hill, 2021. – 912 p.
3. Haykin, S. *Communication Systems*. 6th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2020. – 784 p.
4. Назаренко, І.О., Васюхно, С.І. *Адаптивні алгоритми управління енергетичним потенціалом у цифрових каналах*. Київ: КНУБА, 2023. – 196 с.
5. Zhang, H., Liu, Y., et al. *Energy-efficient resource allocation in 5G and 6G networks*. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2022, vol. 24, no. 1, pp. 1–34.

**COMBINED DETERMINISTIC AND ADAPTIVE ENERGY DISTRIBUTION MODELS IN HIGH-SPEED DIGITAL TRANSMISSION SYSTEMS**

*I. Pliuiko, postgraduate*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 681.58**

*Є.С. Проскурня, магістрант,*

*Н.В. Єрмілова, к.т.н., доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **АНАЛІЗ МЕТОДІВ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ДЛЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ УСТАНОВКИ БРИКЕТУВАННЯ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ**

В роботі розглянутий технологічний процес брикетування залізистих кварцитів, визначено склад установки та важливу роль електропривода у забезпеченні стабільності, продуктивності та енергоефективного виробництва. В процесі розроблення виникло питання способу регулювання швидкості обраного для електроприводу установки брикетування асинхронного двигуна.

Найбільш раціональним в наш час вважається регулювання продуктивності електроприводу зміною частоти обертання електродвигуна, при цьому ККД установки буде достатньо великим й різко знижується споживана потужність. Найчастіше валки брикет-преса в установці брикетування встановлюються на одному валу з електродвигуном, тому зміна частоти обертання валків безпосередньо пов'язана зі зміною частоти обертання електродвигуна.

Широко відомі наступні способи регулювання кутової швидкості асинхронного двигуна: реостатне регулювання, регулювання зміною напруги живлення, регулювання перемиканням числа пар магнітних полюсів, регулювання за допомогою силових напівпровідникових перетворювачів [1].

Для регулювання кутової швидкості, крім згаданих, можуть бути використані деякі інші способи: імпульсне регулювання, регулювання зміною величини напруги, що підводиться до статора, регулювання за допомогою електромагнітної муфти ковзання.

Недоліками реостатного регулювання швидкості є необхідність дискретної зміни опору в роторному ланцюзі за допомогою силових апаратів, керованих дистанційно або вручну, що дає ступінчасте регулювання швидкості й виключає можливість використання замкнених систем автоматичного керування, також невисока швидкодія та значні втрати енергії. У наш час спостерігається тенденція до зменшення використання розглянутого виду регулювання швидкості через його недоліки в порівнянні з іншими наявними методами регулювання.

Якщо регулювати напругу, яка підводиться до трьох фаз статора асинхронного двигуна, то можна, відволікаючись від впливу параметрів регулюючого пристрою на характеристики двигуна, змінювати

максимальний момент, не змінюючи критичного ковзання. Пристроєм для регулювання напруги може бути, наприклад, тиристорний регулятор напруги (ТРН). Він перетворює напругу живильної мережі в регульовану напругу тієї ж частоти. У зв'язку зі значними втратами ковзання в асинхронних приводах, ТРН здебільшого застосовується для керування двигунами з фазним ротором. Використання ТРН в електроприводах асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором рекомендоване лише для формування пуско-гальмівних режимів, і в нашому випадку не є економічно обгрунтованим [2].

Регулювання швидкості перемиканням полюсів вважають досить економічним, його широко застосовують там, де не потрібне плавне регулювання швидкості, наприклад у деяких металорізальних верстатах з метою зменшення кількості механічних передач. Для плавного регулювання швидкості двигунів валків брикет-преса цей метод вважаємо недоцільним.

Враховуючі переваги та недоліки способів регулювання швидкості асинхронних двигунів, що використовуються в установках брикетування залістистих кварцитів, ми прийшли до висновку, що найбільш сучасним та оптимальним для даної розробки способом є регулювання за допомогою силових напівпровідникових перетворювачів частоти [3].

Створено математичні та віртуальні моделі електропривода з частотним регулюванням [4], проведено моделювання динамічних характеристик, яке довело надійність та стабільність роботи системи керування електроприводом установки брикетування залістистих кварцитів при пуску та різних величинах навантажень.

Отримані результати продемонстрували можливість їх практичного застосування для підвищення продуктивності та надійності роботи установки брикетування.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. *Основи електропривода. Теорія та практика. Частина 1: Навчальний посібник.* – Вінниця: ВНАУ, 2020. – 387 с.

2. Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В., Санченко О.В. Романенко О.І. *Моделювання регульованого електропривода: Підручник.* – К.: Аграр Медіа Груп, 2019. – 266 с.: іл.

3. *Електротехніка та електроніка. Теоретичні відомості, розрахунки та дослідження за підтримкою комп'ютерних технологій: Навч. посіб.* /Щерба А.А., Рябенський В.М., Кучеренко М.Є. та ін. – К.: "Корнійчук", 2007. – 488 с. з іл.

4. *Довідник з MATLAB / Електронний навчальний посібник з курсового і дипломного проектування.* – К.: НТУУ "КПІ", 2013. – 132 с.

***ANALYSIS OF THE METHODS OF REGULATING THE SPEED OF AN ASYNCHRONOUS MOTOR FOR THE ELECTRIC DRIVE OPERATION OF THE BRIQUETTING PLANT IRON QUARTZITEN***

*E. Proskurnia, Master's Student,*

*N. Yermilova, Ph.D., Associate professor*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

**УДК 665.33**

*Є.В.Самбур, магістрант,*

*С.Г.Кислиця, к.т.н., доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **СУШІННЯ ЗЕРНА МЕТОДОМ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВАННЯ**

Аналіз досвіду багатьох виробничих підприємств із післязбиральної переробки зерна свідчить про те, що першочерговим завданням у забезпеченні безпеки та якості насіння є їхнє сушіння. Актуальність сушіння зерна зростає у вологій зоні: затягування сушіння або проведення цієї операції з порушенням технологічних режимів неминуче призводить до втрат врожаю. Відповідно до досліджень, при вологості 25-28% протягом трьох діб схожість знижується на 20%. А втрати сухої речовини становлять 0.7-1% на добу за вологості 37% [1].

Важливими факторами ефективного використання сушарок у сільському господарстві є забезпечення вищої якості зерна, збільшення пропускної спроможності агрегатів, а також зниження витрат за енергію. Основою підвищення ефективності існуючих сушарок у сільському господарстві є забезпечення достатнього та стабільного видалення вологи з одного кубічного метра у камерах зерносушарок. Одна з причин, що перешкоджають цьому, полягає в тому, що охолоджуючі пристрої вбудовані в сушильну шахту, не створюють оптимальних умов для повного охолодження зерна і тим самим зменшують корисний обсяг сушильної шахти і видалення вологи з кубічного метра камери. Найбільш перспективним методом сушіння зерна та видалення вологи є метод індукційного нагріву, який залишається маловивченим і рідко застосовується на практиці через значні недосконалості технологій виготовлення перетворювачів частоти. Виробництво в даний час розвивається, і використання практики сушіння зерна стає кращим порівняно з традиційними методами нагріву [2].

До переваг індукційного нагріву можна віднести:

- Передача електроенергії безпосередньо в нагрівальний елемент дозволяє здійснювати пряме нагрівання матеріалів, при цьому швидкість нагрівання знижується.
- Передача електроенергії безпосередньо до нагрівального елемента не потребує контактних пристроїв. Це корисно для автоматичної лінії
- Коли нагрівальний матеріал є діелектриком, наприклад зерном, тоді потужність рівномірно розподіляється за обсягом нагрівального матеріалу. Отже, цей індукційний метод забезпечує швидке нагрівання

– Індукційне нагрівання в більшості випадків може підвищити продуктивність та покращити умови праці. Індукційний прилад можна розглядати як різновид трансформатора, коли первинна обмотка (індуктор) підключена до джерела змінного струму, а матеріал нагрівальний служить вторинним.

Зниження вартості всієї установки потребує розробки та впровадження простих за конструкцією індукційних нагрівачів. Основна відмінність індукційного нагріву від традиційних методів сушіння полягає в об'ємному нагріванні. Тепло проникає у виріб (матеріал) не з поверхні; формується одразу у всьому обсязі, цей процес дозволяє ефективно сушити зерно з низьким енергоспоживанням.

У процесі індукційного нагрівання у висушеному матеріалі відбувається рівномірний розподіл вологи. Індукція передбачає передачі тепла від нагрівача до матеріалу. У той час як інші методи сушіння вимагають нагрівання повітря, а потім передачі тепла від гарячого повітря до матеріалу. На кожному етапі – нагрівання повітря, його транспортування та передача тепла виробам – втрати тепла неминучі.

Висновок Сьогодні сільськогосподарські підприємства та елеватори оснащені переважно прямоточними шахтними сушарками. Ці сушарки припускають значну нерівномірність нагріву та сушіння зерна, що, своєю чергою, призводить до значних витрат на термічне сушіння. Основна причина тут – недосконала подача сушильного агента та атмосферного повітря до осушуючих шарів зерна. Важливою умовою якісної роботи зерносушарок є ефективне охолодження висушеного зерна. За планом охолоджувальні пристрої зерносушарок спроектовані таким чином, щоб температура зерна на виході не перевищувала температуру атмосферного повітря більш ніж на 10°C. Однак на практиці це значення досягає більше 12°C, коли температура повітря вище 15°C. Також сучасні зерносушарки забезпечують значну нерівномірність охолодження. В контексті, що обговорюється, застосування сушіння з індукційним нагріванням може бути більш підходящим способом з точки зору продуктивності, якості та економічної ефективності.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Лісецький В.О., Котов Б.І. Підвищення ефективності зерносушарок //Сільськогосподарські машини. – Луцьк. -2001.- Вип. 9.- С. 104-109.
2. Пазюк В. М., Дуб В. В., Седих К. В. Фактори підвищення інтенсивності та енергоефективності сушіння зернових культур //Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. – 2023. – №. 5. – С. 123-130.

**GRAIN DRYING BY INDUCTION HEATING METHOD**

*S. Kyslytsia, PhD (Engineering), Associate professor,*

*Y. Sambur, master's student*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

## УДК 621.316

С.В. Соловійов, магістрант,

С.Г. Кислиця, к.т.н., доцент

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

## ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НА СОНЯЧНИХ БАТАРЕЯХ

Кількість сонячної енергії, що надходить на Землю, просто величезна і значно перевищує енергію всіх світових запасів вуглецевого палива. Нескладні розрахунки показують, що лише 0,0125 % його обсягу міг би забезпечити всі потреби світової енергетики. Використовують сонячну енергію в основному двома способами – у вигляді теплової енергії, шляхом застосування різних термосистем, та за допомогою фотохімічних реакцій [1]. Останній спосіб – безпосереднє перетворення сонячного випромінювання на електричну енергію за допомогою сонячних батарей. Фотоелементи сонячних батарей є світлочутливими пластинами з напівпровідникового матеріалу: селену, кремнію, арсеніду галію, диселеніду кремнію і т.д. Сонячні батареї можуть бути різної потужності – від портативних установок у кілька ватів до багатоватних електростанцій, що покривають мільйони квадратних метрів площі [2].

Процес перетворення сонячного випромінювання на електричну енергію здійснюється на сонячних електростанціях (СЕС). СЕС є одним із найперспективніших та напрямків, що найбільш швидко розвиваються з використанням відновлюваних джерел енергії. На рисунку 1 представлені дані динаміки зростання світових виробничих потужностей електрики (1) та зростання виробничих потужностей наявних у світі сонячних батарей (2). Пунктирами показано екстраполяцію двох можливих сценаріїв майбутнього зростання глобальних потужностей сонячних батарей [3].

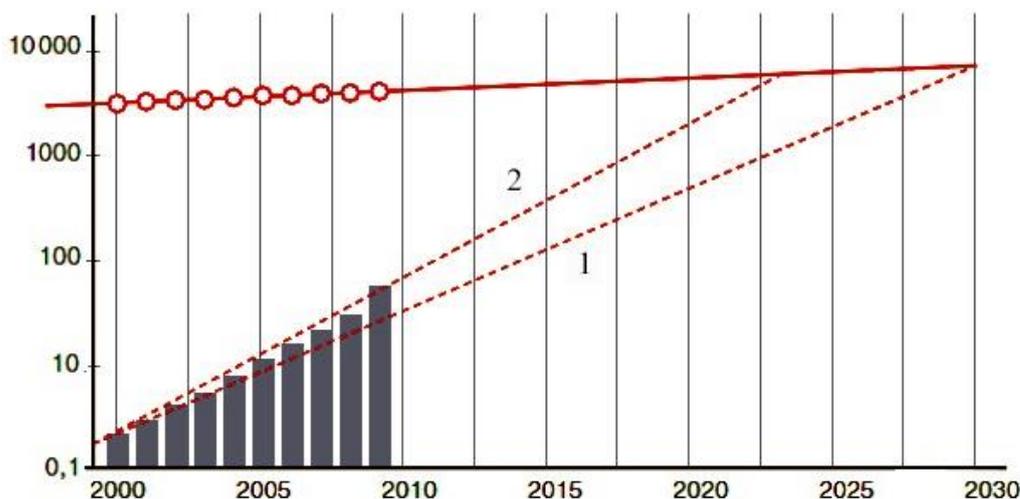


Рисунок 1 – Динаміка зростання світових виробничих потужностей електрики (1) та зростання виробничих потужностей сонячних батарей (2)

Залежно від сфери застосування розрізняють такі види інсталяцій сонячних систем: приватні станції малої потужності, що розміщуються на дахах будинків; комерційні станції малої та середньої потужності, що розташовуються, як на дахах, так і на землі; промислові сонячні станції, які забезпечують енергопостачання багатьох споживачів [4].

Термін служби перетворювачів сонячної енергії різний:

- монокристалічні модулі - 30 і більше років;
- полікристалічні модулі – 20 та більше років;
- з аморфного кремнію (тонкоплівкові, або гнучкі) - від 7 (перше покоління тонкоплівкових технологій) до 20 років (друге покоління тонкоплівкових технологій), тонкоплівкові модулі зазвичай втрачають від 10 до 40% потужності в перші два роки експлуатації.

На терміни окупності і собівартість одержуваної електроенергії від генеруючого комплексу впливає місце та спосіб розміщення фотоелектричних панелей, а також наявність концентратора. Від цих особливостей залежить режим і кількість сонячної енергії панелі, що потрапляє на поверхню, що в свою чергу разом з ККД перетворення сонячного випромінювання є визначальними величинами кількості виробленої електроенергії (W) [4].

Вартість електроенергії, що виробляється фотоелектричними установками, нині становить близько 20 – 30 центів за кВт·год. Однак питання про економічну ефективність СЕС може бути коректно вирішено лише з урахуванням дефіциту електроенергії в регіонах, віддалених від централізованих енергосистем, соціально-економічних, географічних та кліматичних умов [5].

### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Відновлювані джерела енергії / За ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.*
2. *Ю.В. Тащев. Роль відновлюваних джерел енергії в енергетичній трансформації / Ю.В. Тащев // Журнал «Енергетична політика». – 2022. – с. 46-50.*
3. *О.М. Бітюков. Відновлювана енергетика в Україні: виклики та перспективи / О.М. Бітюков // Науковий вісник енергетики. – Київ, 2022. – с. 112-119.*
4. *Лежнюк П.Д. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах: монографія / П.Д. Лежнюк, О.А. Ковальчук, О.В. Нікіторович, В.В. Кулик - Вінниця: ВНТУ, 2014. – 204 с.*
5. *Романчук Я. Дослідження світового ринку виробництва енергії. Глобальний контекст для створення енергетичної стратегії України. <https://www.libertyinstitute.org/articles/energetika-svitovi-tendencziyi-2025>*

**SOLAR POWER PLANTS**

*S. Kyslytsia, PhD (Engineering), Associate professor,*

*S. Soloviov, master's student*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

**УДК 621.39.83**

*А. О. Сузима, магістрант,*

*С. Г. Кислиця, к.т.н., доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕПЛИЦІ**

Автоматизація мікроклімату в теплиці дозволяє суттєво покращити умови для рослин та підвищити їх врожайність. Для цього можна використовувати різні сенсори, контролери та пристрої автоматики, які регулюватимуть температуру, вологість, освітлення та інші параметри в теплиці. Метою роботи є огляд систем керування мікрокліматом автоматизованої теплиці.

Перевага автоматизації теплиць полягає у мінімальній людській участі у виробництві продукції, а також у можливому віддаленому управлінні мікрокліматом при використанні систем автоматизації. При великій кількості тепличного обладнання неможливо обійтися без автоматизації. Автоматизація відкриває нові можливості для тепличного господарства забезпечуючи високий рівень рентабельності виробництва. Системи автоматизованого контролю клімату підтримують необхідний температурно-вологісний режим, діагностують технічний стан обладнання, дозволяють економно витратити воду, тепло та енергоресурси [1].

Функціональні можливості автоматизованої системи управління (АСУ) теплиці:

- автоматичне керування режимами роботи інженерних систем;
- підтримка заданих параметрів мікроклімату;
- відображення необхідної інформації на екрані контролера, монітора чи мобільного пристрою;
- контроль та діагностика стану виконавчого обладнання;
- віддалене керування в особистому кабінеті;
- своєчасне оповіщення персоналу про нештатні ситуації.

Систему АСУ теплиці утворюють такі компоненти:

- первинні перетворювачі температури, вологості, рівня CO<sub>2</sub>, швидкості та напрямки вітру, сонячної радіації, освітленості, тиску та ін;
- сигналізатори досягнення граничних значень;
- блоки живлення, комутуюче та захисне обладнання, органи ручного управління;
- панелі оператора;
- програмовані контролери.

У системах управління мікрокліматом теплиць первинні перетворювачі служать для контролю зовнішніх і внутрішніх показників середовища, таких як температура, вологість, опади, швидкість та напрям вітру, освітленість та інших. Перетворювачі знімають показання та передають сигнали на контролер, з якого керуючі сигнали надходять на виконавчі механізми. Датчики, встановлені у теплиці, служать для достовірної оцінки умов мікроклімату в реальному часі. Якщо температура опускається нижче встановленої межі, система закриває фрамуги для запобігання надходженню холодного повітря. Якщо цього недостатньо, то вводить у дію обігрів. Таким чином, всі дії автоматики спрямовані на запобігання згубним наслідкам рослин. Не менш важливим є контроль зовнішніх показників середовища. Тому в більшості проєктів використовуються датчики для вимірювання температури та вологості повітря, швидкості та напрямку вітру, освітленості чи датчик сонячної радіації, опадів [2].

Крім конструктивних особливостей, у тепличному господарстві необхідно враховувати технологічні параметри, наприклад, такі як кількість вуглекислого газу, оскільки недолік CO<sub>2</sub> є важливим фактором, що обмежує зростання та розвиток рослин. У ґрунтових теплицях при недостатньому повітрообміні вміст вуглекислого газу може впасти настільки, що фотосинтез практично припиняється. Для контролю за кількістю вуглекислого газу встановлюються спеціальні датчики.

Окрім виконання основної функції – забезпечення оптимального мікроклімату, система автоматизованого управління (САУ) здійснює контроль за можливими аварійними ситуаціями та несправностями обладнання у тому числі відключення живлення, відключення автоматів захисту, спрацьовування теплових реле, вихід температури за допустимі межі, втрату зв'язку з датчиками або модулями та ін. Отримавши аварійний сигнал, САУ оперативно сповістить персонал про всі позаштатні ситуації на об'єкті.

Повідомлення про аварійні ситуації дублюється по кількох каналах: аварійна сирена у самій теплиці з виведенням інформації на панель оператора, розсилання повідомлень на електронні адреси відповідальних працівників, виведення інформації на комп'ютер оператора. Своєчасне повідомлення про позаштатну ситуацію дозволяє вчасно вжити заходів та уникнути виходу з ладу обладнання, загибелі врожаю, а отже, і втрат бізнесу [3].

Для контролю та керування тепличним обладнанням використовується диспетчерський пункт із SCADA-системою. У мобільному додатку на пристроях, підключених до інтернету, можна контролювати стан об'єкта.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Курдюмов Н., Малишевський К., Розумна теплиця, Видавництво: Владіс, 2007.-19 с.
2. Віхрова Л.Г. Адаптивна автоматизована система збору та контролю основних параметрів мікроклімату в теплиці / Л.Г. Віхрова, Т.О. Прокопенко // *Machinery in agricultural production, industry machine building, automation.* – 2016. – № 29. – С. 168–172.
3. Jiaqiang Y. *An Intelligent Greenhouse Control System* / Y.Jiaqiang, J.Yulong, G.Jian // *Telkomnika.* – 2013. – Т. 11, № 8. – С. 4627–4632.

**AUTOMATED GREENHOUSE MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM**

**S. Kyslytsia**, PhD (Engineering), Associate professor,

**A. Suzyma**, master's student

National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"

УДК 004.056.5:004.7:658.114.012.2

*І.І. Тараненко, магістрант,*

*Г.В. Головка, к.т.н., доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ZERO TRUST ДЛЯ МАЛОГО ТА СЕРЕДНЬОГО ПІДПРИЄМСТВА**

Малі та середні підприємства дедалі частіше стають мішенню автоматизованих кібератак, оскільки зловмисники використовують масові інструменти сканування та вибору вразливих цілей. У таких умовах традиційні периметрові моделі захисту вже не забезпечують належного рівня безпеки, а тому МСП потребують простішого та ефективнішого підходу до кіберзахисту. Концепція Zero Trust, заснована на відсутності довіри за замовчуванням і постійній перевірці доступу, дозволяє значно знизити ризики навіть без великих інвестицій [1].

Наукові дослідження підкреслюють, що Zero Trust є еволюцією класичних моделей безпеки і пропонує більш стійку архітектуру в умовах сучасних загроз. Однак у більшості академічних праць підхід описується з позицій великих організацій, що мають достатні ресурси для масштабних впроваджень. Для МСП такі моделі часто надто складні, а тому потребують спрощеного трактування, орієнтованого на доступність і мінімальні вимоги до технічної підготовки [2].

Огляди сучасних досліджень підтверджують, що МСП недостатньо представлені у світовій науковій літературі щодо Zero Trust, але при цьому саме вони є найбільш уразливими до атак через слабкі механізми автентифікації, відсутність сегментації, несистемне управління ідентифікації та недостатній моніторинг. У роботах з аналізу впроваджень Zero Trust наголошується, що для МСП ключовою проблемою є не відсутність інтересу, а складність реалізації та відсутність практичних поетапних моделей [3].

Низка досліджень, орієнтованих спеціально на малий бізнес, показує, що Zero Trust може приносити суттєву користь навіть при мінімальному впровадженні. Багатофакторна автентифікація, базова сегментація мережі, централізація доступу та регулярний моніторинг уже самі по собі значно скорочують кількість успішних атак. Проблеми впровадження здебільшого пов'язані з обмеженими бюджетами та відсутністю кваліфікованих спеціалістів, однак адаптовані покрокові моделі дозволяють частково компенсувати ці обмеження [4].

Аналітичні матеріали та рекомендації галузевих організацій демонструють, що для МСП найефективнішим є поетапний підхід: спочатку визначення активів, потім управління ідентифікації, далі посилення захисту пристроїв, автоматизація та безперервний моніторинг. Така модель

впровадження підтвердила свою ефективність у дослідницьких випробуваннях та реальних компаніях, де вона допомогла зменшити кількість інцидентів, підвищити дисципліну доступу та покращити загальну цифрову стійкість без значних фінансових витрат [5].

Zero Trust у контексті МСП — це передусім стратегія мислення, а не суто набір технологій. Вона дозволяє малим компаніям підвищувати цифрову стійкість та ефективність захисту, використовуючи інструменти, які вже є у їхньому розпорядженні. Поетапний підхід робить Zero Trust доступним навіть для бізнесів із мінімальним бюджетом, що робить його одним із найперспективніших методів побудови сучасного кіберзахисту.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Microsoft. *Zero Trust Guidance for Small Businesses*. 2025. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/security/zero-trust/guidance-smb-partner/>
2. Korobeinikova T. *THE ZERO TRUST MODEL: Theory, Practice, and Prospect*. 2025. URL: <https://desymp.promonograph.org/index.php/sge/article/view/sge37-01-006/>
3. Mushtaq S., Mohsin M., Mushtaq M. *A Systematic Literature Review on Zero Trust*. 2025. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12526847/>
4. Abdelmagid A., Diaz R. *Zero Trust Architecture as a Risk Countermeasure for SMEs*. 2025. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12411126/>
5. Cloud Security Alliance. *Zero Trust Guidance for Small and Medium Size Businesses*. 2025. URL: <https://cloudsecurityalliance.org/artifacts/zero-trust-guidance-for-small-and-medium-size-businesses-smbs/>

### ZERO TRUST FOR SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES

*I. Taranenko, undergraduate,*

*G. Golovko, Ph.D., Associate professor*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 005.8**

*Т.А. Ткаченко, здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти,*

*Т.Г. Фесенко, д.т.н., професор*

*Харківський національний університет радіоелектроніки*

**МАТРИЦЯ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ В УПРАВЛІННІ ІТ ПРОЄКТАМИ:  
ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАПАЗОНУ МОДЕЛЕЙ ТА СПЕЦІФІКИ  
ЗАСТОСУВАННЯ**

Відомо, що однією з головних причин неуспішності проєктів це дублювання функцій, «вузькі місця» в процесі схвалення рішень та зростання внутрішніх конфліктів. Невизначеність ролей та тривалість процедур узгодження призводять до значних втрат часу та ресурсів у проєктній діяльності [1–2]. Одним із базових підходів, який дозволяє формалізувати участь кожного виконавця у виконанні завдань, є матриця відповідальності (Responsibility Assignment Matrix, RAM) – таблиця, де рядки відповідають завданням або етапам проєкту, а стовпці – ролям учасників.

Найпоширенішою моделлю матриці відповідальності є RACI, що являє собою абревіатуру чотирьох основних ролей (Responsible/Відповідальний, Accountable/Підзвітний, Consulted/Консультант та Informed/Поінформований), необхідних для формалізації участі виконавців у проєкті [3–4]. Матриця RACI однозначно визначає єдину особу, яка несе кінцеву відповідальність (A – Accountable) та ухвалює остаточне рішення. Якщо одна особа виконує забагато ролей «A», це вказує на потенційне «вузьке місце» в проєкті та ризик його зупинки через перевантаження або відсутність цієї особи. Також RACI допомагає впровадити принцип: «інформувати тільки тих, кого потрібно». Ролі Consulted (радники) та Informed (ті, кого лише інформують) запобігають перевантаженню команди непотрібними комунікаціями.

Водночас, обмежена функціональність класичної RACI-моделі не завжди забезпечує прозорість розподілу допоміжних (або підтримуючих) функцій, що критично для великих і складних проєктів. Це зумовило появу її розширених варіацій, зокрема моделі RASCI (додано S – Support, Той, хто забезпечує підтримку). Застосування RASCI є доцільним для проєктів, де необхідно чітко фіксувати внесок допоміжних ролей (технічна, адміністративна чи операційна підтримка), які гарантують безперервність та стабільність виконання основних робіт.

Для інформаційних систем із підвищеними регуляторними вимогами та критичною потребою в контролі якості (наприклад, фінансові або медичні інформаційні системи), доцільно застосовувати модель RACI-VS. Ця модифікація розширює базову матрицю, додаючи ролі Verifier (Верифікатор) та Signatory (формальний затверджувач), що дозволяє чітко

розмежувати етапи незалежної перевірки та фінального документального підписання результатів.

У проєктах, де швидкість і прозорість ухвалення рішень є критично важливими (зокрема, у продуктивних командах та стартапах), доцільно використовувати модель DACI. Ця матриця концентрується на процесі, чітко розмежовуючи роль Driver (керівник процесу/ініціатор), який керує процесом, та Approver (особа, яка ухвалює остаточне рішення). Це дозволяє прискорити ітераційний цикл та мінімізувати простой.

Для креативних та Agile-проєктів ефективною може стати модель МОСНА. Вона дозволяє детально розподілити функції та чітко визначити власника продукту (Owner) – відповідального за кінцевий результат; менеджера (Manager) – відповідального за оперативну координацію процесу. Крім того, виділені ролі: помічник (Helper), консультант (Consulted); затверджувач (Approver).

У формалізованих або ієрархічних організаціях часто використовується RATSI (Responsible; Authority; Tasked; Support; Informed). Її ключова перевага полягає у чіткому розмежуванні ролі основного виконавця завдання (Responsible) від особи, якій доручено виконання лише частини завдання (Tasked). Також матриця виділяє особу, яка наділена формальними повноваженнями ухвалювати рішення (Authority), що робить її придатність для високорегульованих середовищ.

У підсумку, RAM визначаються здатністю перетворювати організаційний хаос на чітку структуру, запобігати конфліктам, прискорювати прийняття рішення, ефективно розподіляти комунікаційні потоки, знижувати ризики, пов'язаних з нечітким розподілом повноважень. Водночас класична модель RACI має обмеження в умовах зростаючої складності проєктів. Це зумовило необхідність використання модифікованих варіацій, які адаптують інструментарій під специфічні потреби: RASCI – оптимальна для великих проєктів, що потребують фіксації допоміжних функцій (Support); RACI-VS критична для високорегульованих середовищ (фінансові, медичні системи), де необхідне чітке розмежування верифікації та формального затвердження; DACI – ідеальна для продуктивних команд та стартапів, де пріоритетом є швидкість ухвалення рішень через розмежування ролей драйвера та затверджувача; МОСНА – ефективна для креативних та Agile-проєктів, чітко розділяючи ролі власника (кінцева відповідальність) та менеджера (оперативна координація); RATSI – найкраще підходить для ієрархічних та формалізованих структур, акцентуючи на повноваженнях (Authority) та розмежуванні виконавців (Responsible та Tasked).

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Barska I., Teslenko P., Fesenko T., Voznyi O. *Algorithm of distributing the team load for IT-project // 2015 IEEE 8th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), Warsaw, Poland, 2015, P. 559–562, doi: 10.1109/IDAACS.2015.7341367.*

2. Фесенко Г.Г., Фесенко Т.Г. *формирование компетентности команды проекта в контексте HR-стратегий // III International Scientific Conference Modern Transformation in Economics and Management: Conference Proceedings, Part I, March 29th, 2019. Klaipeda, Lithuania: Baltija Publishing, 2019 – P. 125–127.*

3. *A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) : Seventh Edition. – USA : Project Management Institute, 2021. – 589 p.*

4. Фесенко Т. Г. *Управління проектами: теорія та практика виконання проектних дій. Харків: ХНАМГ, 2012. – 181 с.*

*T. Tkachenko, Master's degree student,*

*T. Fesenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor  
Kharkiv National University of Radio Electronics*

**УДК 62.5***А.С. Торбенко, магістрант**С. Г. Кислиця, к.т.н., доцент**Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»***ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ  
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСІВ ВОДООБІГУ НА ЦУКРОВОМУ  
ЗАВОДІ**

Водне господарство цукробурякових заводів за своєю складністю та питомим водоспоживанням електроенергії не має аналогів серед інших харчових підприємств і за своєю значимістю наближається до таких галузей промисловості, як металургійна, хімічна, целюлозно-паперова, нафтопереробна тощо.

Водне господарство є важливою складовою у виробничій сфері кожного цукрового заводу. Цукрове виробництво пов'язане із споживанням та скиданням великої кількості води. При цьому основну кількість стічної води можливо використовувати як оборотну. Функціональна схема системи водообігу на цукровому заводі представлено на рисунку 1.

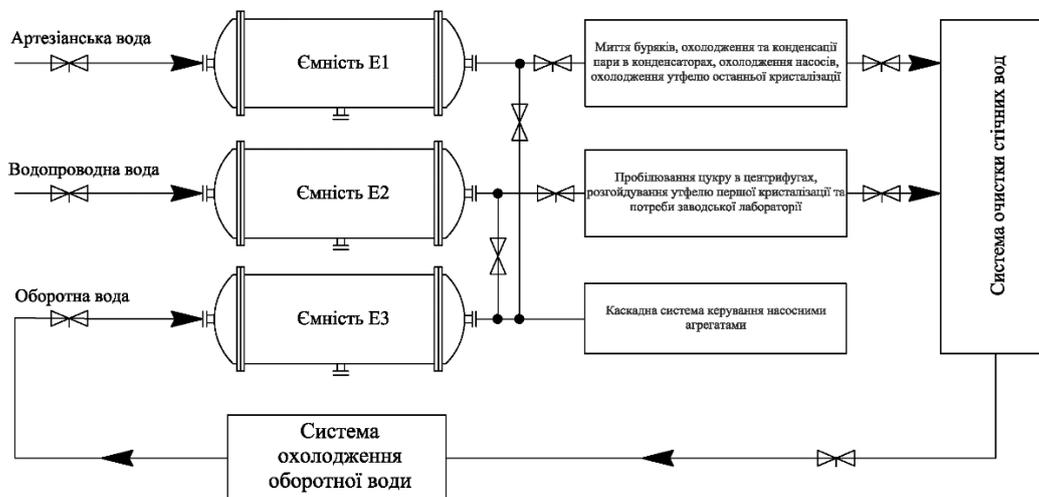


Рисунок 1 – Функціональна схема водообігу цукрового заводу

У технології цукру для виробничих цілей використовують воду із джерел питного водопостачання (артезіанську та водопровідну); свіжу технічну (річкову чи водопровідну); води, що утворюються в процесі виробництва, – барометричну та конденсати. Для проведення технологічних процесів (миття буряків, охолодження та конденсації пари в конденсаторах, охолодження насосів, охолодження утфелю останньої кристалізації) використовується природна вода (вода з річок, озер). Артезіанська вода

витрачається на пробілювання цукру в центрифугах, розгойдування утфелю першої кристалізації та потреб заводської лабораторії.

Потреба цукрового заводу у воді становить 20 т води різної якості на 1 т сировини, що переробляється, у тому числі 2-2,5 т свіжої води. Для перекачування такої кількості води необхідні потужні насосні установки. Вихід з ладу хоча б одного насосного агрегату впливає на весь технологічний процес, що призводить до простоїв та грошових втрат в цілому.

Одним із перспективних напрямків вдосконалення системи керування насосами водообігу є використання комбінованої системи насосних установок, тобто використання подібних насосів меншої потужності в паралельному або послідовному виконанні (рисунок 2).

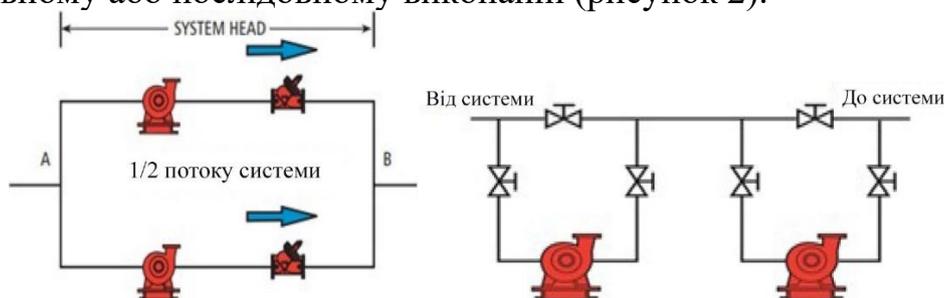


Рисунок 2 – Комбіновані системи насосних установок

Серед переваг використання паралельних чи послідовних насосних установок замість одного насоса можливо виділити наступні:

- нижча первісна вартість;
- нижча вартість установки;
- збільшене резервування;
- простіше технічне обслуговування;
- нижчі експлуатаційні витрати;
- значна економія енергії.

Особливість при використанні кількох насосів полягає в тому, що один насос з системи може бути відремонтовано, тоді як інші продовжують обслуговувати систему керування технологічним процесом. Таким чином, відмова одного блоку не призводить до вимкнення всієї системи, що відіграє важливу роль у технологічному процесі виробництва цукру.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Костенко Т. Аналіз інноваційного розвитку підприємств цукрової галузі// Вісник Київ. нац. ун-ту. Економіка. 2014. №5 (158). С. 63-68.

2. Склярів Д. Підвищення економічної ефективності бурякоцукрового виробництва// Інноваційний розвиток та безпека підприємств в умовах неіндустріального суспільства. Доступ до ресурсу: chrome-

*extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://evnuir.vnu.edu.ua/bitstream/123456789/19041/1/448-449.pdf*

**RESEARCH AND IMPROVEMENT OF THE ELECTRIC DRIVE SYSTEM OF WATER CIRCULATION PUMPS AT A SUGAR FACTORY**

*A. Torbenko, Master's student,*

*S. Kyslytsia, PhD (Engineering), Associate professor*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

**УДК 004.056.55**

*Т.М. Фесенко, к.т.н., доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **МАТЕМАТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ БАГАТОРІВНЕВОГО ЗАХИСТУ АВТЕНТИФІКАЦІЙНИХ КЛЮЧІВ**

У сучасних інформаційно-комунікаційних системах проблема захисту автентифікаційних ключів набуває критичного значення у зв'язку з поширенням хмарних сервісів, менеджерів паролів та багатофакторних механізмів доступу. Автентифікаційні ключі є базовим елементом систем безпеки, компрометація яких призводить до втрати конфіденційності, цілісності та доступності інформаційних ресурсів. За цих умов актуальним є пошук нових підходів до підвищення рівня захисту ключів, які б виходили за межі класичних криптографічних методів і враховували сучасні загрози.

Алгоритм AES, як стандарт шифрування широко застосовується для захисту конфіденційних даних завдяки високій криптостійкості, формально доведеним властивостям безпеки та ефективності реалізації. Разом із тим, використання AES не усуває ризиків, пов'язаних із можливістю виявлення самого факту зберігання або передавання зашифрованих ключів. У середовищах з підвищеним рівнем загроз це створює передумови для проведення криптоаналітичних атак, статистичного аналізу та атак побічними каналами.

Особливої уваги дана проблема набуває у контексті хмарних платформ, корпоративних систем єдиного входу та менеджерів паролів, де ключі автентифікації можуть передаватися через потенційно контрольовані канали зв'язку. За таких умов навіть криптографічно захищені дані залишаються об'єктом уваги зловмисника, що знижує загальний рівень безпеки системи. Це зумовлює необхідність доповнення симетричного шифрування методами, які дозволяють приховати не лише вміст інформації, але й сам факт її існування.

Перспективним напрямом підвищення захисту є застосування стеганографічних методів, що забезпечують приховане вбудовування зашифрованих ключів у цифрові контейнери, такі як зображення, аудіо- або текстові файли. Інтеграція стеганографії з AES дозволяє сформувати додатковий рівень безпеки, орієнтований на зниження ймовірності виявлення автентифікаційних даних у процесі їх зберігання або передавання. Таким чином, криптографічна стійкість доповнюється приховувальною здатністю, що істотно ускладнює реалізацію атак.

Подальший розвиток ІТ, зокрема методів машинного навчання та нейронних мереж, формує нову парадигму протистояння у сфері кібербезпеки. З одного боку, інтелектуальні алгоритми можуть

використовуватися для автоматизованого виявлення стеганографічних контейнерів і пошуку закономірностей у ключових даних. З іншого боку, ці ж технології здатні підвищувати ефективність захисту шляхом адаптивного налаштування параметрів стеганографічних алгоритмів, підвищення ентропії ключів та оперативного виявлення аномальних дій у каналах передавання інформації.

У межах дослідження обґрунтовано доцільність комбінованого підходу до захисту автентифікаційних ключів, який поєднує симетричне шифрування AES, стеганографічні методи та елементи машинного навчання. Запропонована модель базується на математичному аналізі ентропійних характеристик ключів, ймовірнісній оцінці криптостійкості AES та показниках приховувальної здатності стеганографічних алгоритмів. Такий підхід дозволяє формалізувати вплив кожного рівня захисту на загальну стійкість системи.

Результати аналітичного та експериментального дослідження свідчать, що поєднання AES зі стеганографією забезпечує зниження ймовірності несанкціонованого виявлення ключів на десятки відсотків у порівнянні з традиційними схемами захисту. Додаткове використання нейромережевих механізмів моніторингу дозволяє скоротити час реакції системи на підозрілі дії та підвищити адаптивність захисних механізмів у динамічному середовищі.

Для кількісної оцінки ефективності запропонованого підходу використано критерій ентропійної стійкості, який інтегрує криптографічну, стеганографічну та машинно-навчальну складові. Оптимальний баланс між цими компонентами забезпечує одночасне підвищення рівня безпеки та збереження прийнятної продуктивності системи. Моделювання у корпоративному середовищі підтвердило можливість масштабування рішення без суттєвого впливу на швидкодію процесів автентифікації.

Таким чином, комбіноване застосування алгоритму AES, стеганографічних методів і технологій машинного навчання формує багаторівневу архітектуру захисту автентифікаційних ключів, здатну ефективно протидіяти сучасним криптоаналітичним та інтелектуальним атакам. Отримані результати мають практичну цінність для впровадження у хмарних сервісах, менеджерах паролів та корпоративних системах управління доступом і можуть слугувати основою для подальших наукових досліджень у сфері інформаційної та кібербезпеки.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Zhyvylo, Ye. *Risk Management of Critical Information Infrastructure: Threats-Vulnerabilities-Consequences* / Yevhen Zhyvylo, Vladyslav Kuz // *Theoretical and Applied Cybersecurity : scientific journal*. – 2023. – Vol. 5, Iss. 2. – Pp. 68–80. – <https://doi.org/10.20535/tacs.2664-29132023.2.280377>.

2. 2. *Weixuan Tang, Bin Li, Shunquan Tan, Mauro Barni, Jiwu Huang, CNN Based Adversarial Embedding with Minimum Alteration for Image Steganography, 2018. Retrieved from [https://arxiv.org/abs/1803.09043?utm\\_source=chatgpt.com](https://arxiv.org/abs/1803.09043?utm_source=chatgpt.com).*

**MATHEMATICAL AND APPLIED ASPECTS OF MULTI-LEVEL AUTHENTICATION KEY PROTECTION**

*T. Fesenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor  
National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 629.783**

*О.С. Фомін, к.т.н., доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ШИРОКОСМУГОВИЙ ВИМІРЮВАЧ ПОТУЖНОСТІ РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ**

На сьогоднішній день безпілотні літальні апарати (БПЛА) набули широкого використання, як в цивільній, так і в оборонній сферах. Маючі у складі телекомунікаційні вузли, вони стають джерелом сигналів, які забезпечують зв'язок між апаратним комплексом і оператором, керування польотом, передачу телеметричних даних і відеопотоку в реальному часі. Спектральні, потужнісні та модуляційні характеристики радіовипромінювання БПЛА лежать в основі їх виявлення, ідентифікації та моніторингу. Саме параметри радіосигналів визначають вимоги до вимірювальних пристроїв, таких як чутливість, діапазон частот, селективність і можливість працювати в умовах радіоперешкод. Контроль потужності наявного радіовипромінювання у просторі є першою і базовою задачею ефективного моніторингу БПЛА, що робить актуальною розробку відповідного устаткування, здатного працювати в складних умовах міського та заміського середовищ.

Для аналізу радіовипромінювання використовуються, як професійні аналізатори спектра і портативні вимірювачі, так і аматорські програмно-апаратні рішення. Кожен з таких комплексів характеризується своїми перевагами та недоліками, які визначають їх здатність ефективно аналізувати сигнали БПЛА. Стандартом для аналізу радіосигналів вважаються професійні вимірювальні комплекси від провідних компаній, таких як Rohde & Schwarz, Keysight Technologies і Anritsu. Завдяки високій точності, широкому частотному діапазону і вбудованим засобам обробки сигналів вони є потенційними лідерами серед приладів для радіомоніторингу повітряного простору.

Аналізатор спектра Rohde & Schwarz FSVR працює в діапазоні від 10 МГц до 7 ГГц. Це дозволяє повністю охопити основні діапазони БПЛА (від 433 МГц до 5.8 ГГц), а завдяки чутливості -160 дБм - виявляти найслабші сигнали на великих відстанях. Похибка вимірювання при цьому не перевищує 0.5 дБ, що є, по суті, найвищим стандартом точності [1]. Проте, висока вартість (~20 тис. дол.) робить його малоприсадибним для масового використання, а маса порядку 10–15 кг і потреба в стаціонарному живленні суттєво обмежують його можливості в польових умовах.

Keysight N9912A FieldFox - це портативний аналізатор масою 3 кг, здатний працювати на частотах від 100 кГц до 6 ГГц. При похибці не більше 1 дБ чутливість приладу досягає -148 дБм [2]. Він здатен виявляти БПЛА за

сигналами на відстані до 1 км. Аналіз спектра відбувається при цьому у реальному часі. Проте, висока вартість (~10 тис. дол.), обмежена тривалість роботи від батареї (не більше 3-4 годин) та необхідність кваліфікованих спеціалістів обмежують його використання в умовах, де потрібні мобільність та автономність.

Професійні комплекси та портативні рішення мають високу точність і широку функціональність, включаючи цифрову обробку в реальному часі, але їх висока вартість, складність у використанні, габарити роблять їх непрактичними в ситуаціях, коли потрібні економічна ефективність і простота експлуатації. Аматорські рішення, побудовані здебільшого на основі SDR, характеризуються відносно невисокою вартістю і простотою реалізації, але мають обмежений діапазон частот, чутливість та стійкість до радіозавад.

Для побудови вимірювача потужності обрано True Rms детектор ADL5902 від Analog Devices через оптимальне поєднання чутливості (-60 дБм), динамічного діапазону (65 дБ) і низької величини похибки (1 дБ). Він здатен працювати з різними типами модуляції, покриває діапазон 50 МГц – 9 ГГц і є економічно вигідним. При цьому детектори на основі діодів мають недостатню чутливість, а теплові датчики - надмірну вартість і розміри.

Сигнал знімається з широкосмугової логіперіодичної антени, підсилюється вхідним підсилювачем та через смуговий фільтр надходить на вхід детектора потужності. Керамічні смугові фільтри передбачено для зменшення електромагнітних перешкод у діапазонах 2.4 ГГц (2400–2483 МГц) і 5.8 ГГц (5725–5850 МГц) [3]. Вихідна напруга детектора оцифровується АЦП. Використано 24-бітний сігма-дельта АЦП, із частотою дискретизації 1,28kHz. Це забезпечує точне перетворення аналогового сигналу з детектора для подальшої обробки. Роздільна здатність у 24 біти (ефективна роздільна здатність ~20 біт) дозволяє виявляти зміни потужності з високою точністю. Керування АЦП, дисплеєм і обробка даних здійснюються мікроконтролером STM32F103 (32 біт, 72 МГц, 128 КБ флеш-пам'яті). Він дозволяє ефективно обробляти дані у реальному часі, забезпечуючі при цьому низьке енергоспоживання (50–100 мА при 3.3 В). Передбачено USB інтерфейс для інтеграції з персональним комп'ютером, що дозволяє зберігати результати вимірювань та проводити їх більш детальний аналіз.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. *Rappaport T. S. Wireless Communications: Principles and Practice, 2nd ed., Prentice Hall, 2024.*
2. *N9912A FieldFox Handheld RF Analyzer, 4 GHz and 6 GHz. Режим доступу – <https://www.keysight.com/us/en/product/N9912A/fieldfox-a-handheld-rf-analyzer-4-ghz-6-ghz.html>*

3. *Coaxial-Ceramic Resonator Filters and Multiplexers. Режим доступу - <https://www.minicircuits.com/pdfs/CBP-5800AG+.pdf>*

**WIDEBAND RADIO RADIATION POWER METER**

***O. Fomin***, *Candidate of Engineering Sciences/PhD, Associate Professor  
National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

УДК 004.855:621.396

*О.С. Фомін, к.т.н., доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **РОЗПІЗНАВАННЯ БПЛА ЗА СПЕКТРАМИ РАДІОСИГНАЛІВ**

Інтенсивність використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) за останні роки суттєво зросла, як в цивільній, так і в оборонній сферах. Забезпечення безпеки повітряного простору вийшло на перший план. Традиційні способи виявлення літальних апаратів засновані на візуальному спостереженні, акустичному аналізі або фізичному перехопленні виявилися недостатньо ефективними в задачах їх виявлення і моніторингу.

Проведено розгорнуте теоретичне узагальнення та здійснено порівняння сучасних підходів машинного навчання, що використовуються для розпізнавання типів БПЛА за спектральними характеристиками їхніх радіовипромінювань. Проаналізовано принципи побудови інформаційних моделей, які спираються на часово-частотні параметри сигналів, а також підходи до формування навчальних вибірок, що ґрунтуються на спектрограмах, вейвлет-аналізі, фур'є-коефіцієнтах та інших показниках спектральної щільності потужності. Окремий акцент зроблено на методах попередньої обробки даних, які дозволяють відокремити важливі структурні риси навіть у широкосмугових або зашумлених сигналах.

Серед методів пасивного виявлення БПЛА дедалі більшого значення набуває створення моделей машинного навчання, які можуть визначати тип апарата на основі спектральних особливостей його радіовипромінювання. Це зумовлено необхідністю постійно контролювати повітряний простір навіть за умов складної електромагнітної обстановки, наявності перешкод та нестійких характеристик каналу зв'язку. Основою радіочастотного контролю БПЛА є форма отриманих від них сигналів, яка визначає характерні патерни для подальшої обробки алгоритмами машинного навчання. На практиці для аналізу радіосигналів найчастіше використовують спектрограми, отримані за допомогою короткочасного перетворення Фур'є, вейвлет-аналізу, а також різноманітних енергетичних і статистичних метрик - таких як спектральна щільність енергії, автокореляційні характеристики та інші показники у часо-частотній області [1]. Спектрограми дають змогу перетворити одновимірний сигнал у зображення, придатні для подальшої обробки в згорткових нейронних мережах (CNN), завдяки чому суттєво покращується точність моделей [2]. Моделі на основі CNN добре справляються з узагальненням під час класифікації різних типів БПЛА, оскільки здатні навчатися безпосередньо на спектрограмах, не потребуючи попереднього формування ознак вручну. Проте їхня ефективність знижується, коли йдеться про обробку тривалих

сигналів або часових змін у даних, де важливу роль відіграє динаміка послідовностей.

Щоб усунути цей недолік, часто використовують рекурентні нейронні мережі (RNN), а також їхні вдосконалені модифікації - LSTM і GRU [3]. Вони здатні ефективно опрацьовувати часові залежності у радіосигналах, що дає можливість відстежувати зміни їхньої частотної структури протягом усього часу спостереження. Водночас у ситуаціях із високою мінливістю сигналу або його чутливістю до завад такі моделі можуть демонструвати нестійкість під час навчання.

Наступним логічним кроком став синтез змішаних моделей, в яких згорткові мережі поєднуються з рекурентними в єдиній архітектурі. CNN-блок відповідає за первинне виділення спектральних особливостей сигналу, тоді як LSTM-мережа обробляє їх як послідовність в часі. Це дозволяє скористатися сильними сторонами обох типів моделей і забезпечує високу точність навіть при значному рівні шуму. Ефективність цих гібридних систем підтверджена багатьма практичними роботами, зокрема під час розпізнавання схожих типів БПЛА, у яких частотні ознаки частково перекриваються [4]. Особливий інтерес нині викликають моделі на базі трансформерів (Transformer), які добре виявляють довгострокові залежності між частинами сигналу й зберігають високу точність класифікації навіть тоді, коли сигнал подано неповністю або він частково спотворений.

У ході дослідження було підтверджено, що методи машинного навчання мають значний потенціал для визначення типів БПЛА за спектральними особливостями їхніх радіосигналів. Отримані напрацювання плануються покласти в основу розробки практичних інженерних рішень у сфері інтелектуальних систем моніторингу повітряного простору.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Mo Y., Huang J., Qian G. *Deep learning approach to UAV detection and classification by using compressively sensed RF signal. Sensors. 2022. Vol. 22, No. 8. Article No. 3072.*
2. Hou C., Fu D., Zhou Z., Wu X. *A deep learning-based multi-signal radio spectrum monitoring method for UAV communication. Drones. 2023. Vol. 7, No. Article No. 511.*
3. Nemer I., Sheltami T., Ahmad I., Yasar A.U.H., Abdeen M.A. *RF-based UAV detection and identification using hierarchical learning approach. Sensors. 2021. Vol. 21, No. 6. Article No. 1947.*
4. Zhang H., Li T., Li Y., Li J., Dobre O.A., Wen Z. *RF-based drone classification under complex electromagnetic environments using deep learning. IEEE Sensors Journal. 2023. Vol. 23, No. 6. P. 6099–6108.*

**UAV RECOGNITION BY RADIO SIGNALS SPECTRA**

***O. Fomin**, Candidate of Engineering Sciences/PhD, Associate Professor  
National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 621.311**

*О.В. Шефер, д.т.н., професор,*

*О.Г. Дрючко, к. х. н., доцент,*

*О.В. Сухоробрий, студент,*

*Р.В. Решетник, студент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ВАЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ І НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**

У найближчі роки, на думку авторитетних експертів, відновлювані джерела енергії (ВДЕ) стануть найважливішим джерелом енергії у світі. Особливо це стосується фотоелектричних електростанцій (PV), які мають велике майбутнє. Однак, незважаючи на зростаючу частку ВДЕ у загальному виробництві енергії, необхідно приділяти першорядну увагу їхній безпеці, надійності та економічній ефективності.

Майбутній розвиток фотоелектрики формує основні технічні тенденції, які включають п'ять таких аспектів:

- зниження загальної вартості виробництва сонячної енергії,
- сумісність з існуючою енергосистемою,
- можливість перетворення (а також збереження) в інші форми енергії,
- інтелектуальну конвергенцію,
- безперебійність, надійність та безпеку в роботі.

Незважаючи на світовий фотоелектричний ринок, що динамічно розвивається, у сучасних фотоелектричних установках все ще є цілий ряд «неінтелектуальних пристроїв» - від виробництва енергії до зв'язку. Ці засоби інфраструктури не можливо ефективно контролювати та забезпечувати безпомилковість у їх роботі. У найближчий час очікується, що завдяки швидкому розвитку цифрових технологій, таких як 5G та хмарних технологій, понад 90% усіх фотоелектричних установок буде повністю оцифровано. Це дозволить фотоелектричним установкам бути інтелектуальними та отримати ефективні інструменти для їхнього керування.

Завдяки розумним цифровим технологіям енергетика поступово трансформуватиметься в сучасну цифрову енергетику, де домінуватимуть ВДЕ. Фахівці зі штучного інтелекту можуть запропонувати перспективні нові технології для фотоелектричних систем, зокрема:

- попереджувальну ідентифікацію та захист фотоелектричних модулів, діагностику несправностей обладнання з використанням алгоритмів штучного інтелекту;

- оптимізацію алгоритму трекера за рахунок великого обсягу даних, а також можливість самонавчання для більш високої віддачі;

- а також автоматичну оптимізацію роботи батареї з використанням інструментів штучного інтелекту (ІІ) у складі фотоелектричної установки.

У міру зниження загальної вартості сонячної енергії та збільшення складності експлуатації й технічного обслуговування методи на основі ІІ будуть широко застосовуватися також і в сонячній енергетиці.

З розвитком штучного інтелекту та Інтернету речей (ІоТ) з'являться нові інтелектуальні продукти та послуги, які забезпечать більш високий рівень комфорту при експлуатації та технічному обслуговуванні фотоелектричних систем.

Вказані дії, що вимагають незмінно високого рівня точності, сприятимуть підвищенню продуктивності та безпеки фотоелектричної установки. Таким чином, очікується, що в майбутньому більшість операцій з експлуатації та технічного обслуговування фотоелектричних електростанцій буде повністю автоматизовано без необхідності втручання людини.

ВДЕ вже є економічно ефективними та конкурентоспроможними без субсидій у багатьох країнах світу. Фотоелектричні станції поступово переходять в категорію від обладнання, що адаптується до мережі, до обладнання, що підтримує високий рівень управління роботою традиційних розподільних мереж. У зв'язку з часткою ВДЕ, що постійно зростає, оператори розподільчих мереж підвищують вимоги до показників якості електричної енергії, в т. ч. до регулювання частоти та врівноваження піків енергії.

Останніми роками у зв'язку з технічним прогресом відбулося значне зниження вартості акумуляторних систем зберігання енергії. У цьому контексті очікується, що зростатиме взаємозв'язок фотоелектричних установок із системами накопичення енергії. За оцінками, до 2025 року понад 30% фотоелектричних станцій буде оснащено сучасними системами накопичення енергії.

Протягом наступних років технології ІКТ, такі як 5G, блокчейн та хмарні сервіси будуть широко використовуватися на розподілених електростанціях. Це дозволить створити цифрові електростанції, які дозволять спільно управляти, а також брати участь у плануванні, транзакціях та допоміжних послугах для енергетичних систем.

У зв'язку зі зниженням загальних витрат на виробництво сонячної енергії зростають вимоги до більш високої номінальної потужності одного модуля, а також простоти обслуговування фотоелектричних інверторів. Для досягнення цієї мети потрібна більша щільність енергії. А це реалізується завдяки проривам у дослідженнях широкосмугових напівпровідників на основі SiC, GaN та досконалим алгоритмам управління питомою потужністю інверторів.

Конвергенція 5G, хмарних технологій та технологій штучного інтелекту змінює функціонування фотоелектричних систем, у якому все підключається, фіксується та інтелектуально контролюється. Розглянуті зміни дозволяють створити платформу з безмежним потенціалом для ефективних інноваційних енергетичних рішень.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. IRENA. *Future of Solar Photovoltaic: Deployment, Investment, Technology, Grid Integration and Socio-economic Aspects*. — International Renewable Energy Agency, 2019. — 130 p.
2. IEA. *Renewables 2024: Analysis and forecast to 2029*. — International Energy Agency, 2024. — Report Series.
3. Liu, J., Liu, Y., & Wang, J. *Artificial Intelligence–Enabled Operation and Maintenance in Photovoltaic Systems: A Comprehensive Review*. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. — 2023. — Vol. 181. — Article 113326.
4. Chouder, A., Silvestre, S., Taghezouit, B., & Karatepe, E. *Monitoring, Modelling and Diagnosis of Photovoltaic Systems Using AI Techniques: A Review*. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. — 2021. — Vol. 109. — pp. 1–24.

#### THE IMPORTANCE OF USING THE POSSIBILITIES OF TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES TO ENSURING THE EFFICIENCY AND RELIABILITY OF PHOTOELECTRIC POWER INDUSTRY

**O. Shefer**, Ph.D., Professor,

**O. Dryuchko**, Ph.D., Associate Professor,

**O. Sukhorebry**, student,

**R. Reshetnyk**, student

National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”

УДК 621.313.2:62-83

*О.В. Шефер, д.т.н., професор,*

*В.А. Гайдук, магістрант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## ПРИНЦИПИ АЛГОРИТМІЧНОГО ТА СИЛОВОГО УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА КАР'ЄРНОГО ЕКСКАВАТОРА

Сучасні вимоги до гірничодобувного комплексу, пов'язані з необхідністю підвищення продуктивності, енергоефективності та надійності технологічних процесів, зумовлюють актуальність дослідження методів модернізації електроприводів важкого кар'єрного обладнання. Електромеханічний комплекс екскаватора ЕКГ-5 характеризується складними неперервно-циклічними режимами роботи, суттєвими динамічними навантаженнями та високими електромеханічними перехідними процесами, що потребує удосконалення системи керування та силової частини.

Проведено детальний аналіз електропривода, у процесі якого ідентифіковано критичні фактори, що обмежують ефективність його експлуатації. До них належать: недостатня стійкість у режимах різкої зміни моменту навантаження (рис.1), нелінійність механічних характеристик, обмежена швидкодія та значні енергетичні втрати, обумовлені застарілими принципами керування та низькою якістю перетворення електричної енергії. Проведена оцінка електромагнітних процесів дозволила сформулювати обґрунтовані вимоги до модернізації: зниження інерційних складових, підвищення ККД та поліпшення характеристик регулювання електропривода [1].

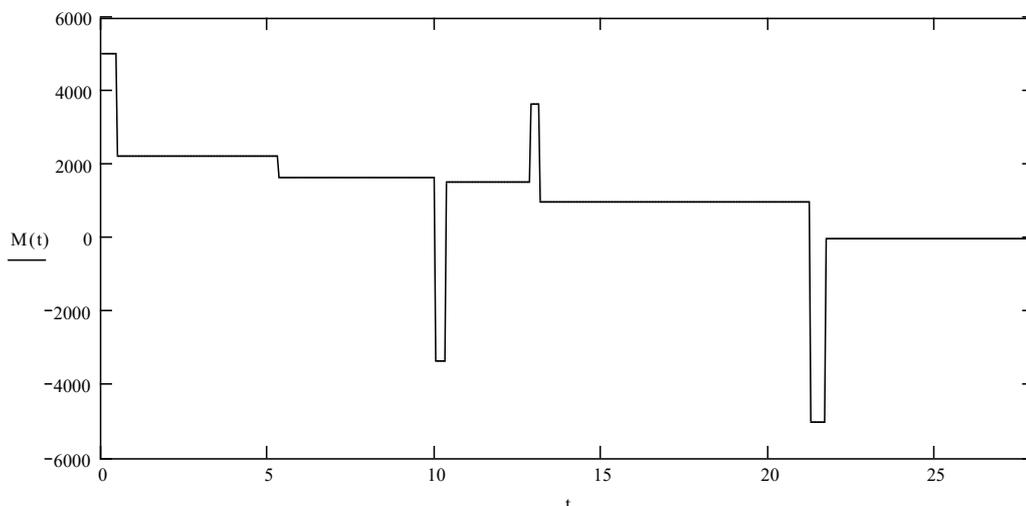


Рисунок 1 – Діаграма навантаження екскаватора

Запропоновано науково обґрунтовану структуру модернізованого електропривода, що передбачає використання високоефективного електродвигуна відповідного класу енергоефективності, генераторного агрегату та тиристорного перетворювача з покращеними параметрами комутації. Розроблено математичні моделі силових елементів, виконано розрахунок навантажувальних характеристик та динамічних параметрів механізмів екскаватора з урахуванням реальних умов експлуатації. Обрано оптимальні параметри трансформаторів, датчиків та вимірювальних каналів, що забезпечують необхідну точність контролю та керування [2].

Побудовано формалізовану модель електропривода у вигляді системи диференціальних рівнянь, що описують електромагнітні та механічні процеси у розімкненій та замкненій системах. Визначено коефіцієнти передачі, інерційні параметри та проведено структурно-алгоритмічний синтез регуляторів напруги, струму та ЕРС. На основі енергетичного аналізу розраховано ККД, коефіцієнт потужності та визначено шляхи мінімізації втрат у силових елементах, враховуючи частотні властивості перетворювача та характер навантаження.

Виконано комп'ютерне моделювання динамічних процесів у MATLAB/Simulink з метою перевірки адекватності розроблених моделей та оцінки ефективності алгоритмів керування. Побудовано перехідні характеристики системи, визначено параметри якості: час наростання, перерегулювання, статичну похибку та стійкість. Результати свідчать про суттєве покращення динамічної точності, зменшення амплітуди коливаний моменту та зниження перехідних перевантажень. Розроблена мікропроцесорна система керування, оснащена адаптивними алгоритмами, забезпечує оптимізацію частоти обертання електродвигуна залежно від характеру технологічного навантаження.

Узагальнення отриманих результатів показує, що модернізація електропривода екскаватора ЕКГ-5 дозволяє підвищити ефективність електромеханічних процесів, зменшити енергетичні витрати, покращити точність та швидкодію системи керування, а також підвищити ресурсоощадність і надійність роботи обладнання. Запропонований комплекс технічних і алгоритмічних рішень може бути використаний як основа для модернізації електроприводів кар'єрних екскаваторів різних типорозмірів та впровадження інтелектуальних систем керування у гірничодобувній галузі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Боднар В. В., Савчук О. В. *Електропривод і автоматизація промислових установок.* – Львів: Новий Світ, 2016. – 512 с.
2. Пляцук Л. Д. *Електромеханічні системи автоматичного керування.* Харків: ХНУРЕ, 2021. 356 с.

**PRINCIPLES OF ALGORITHMICAL AND POWER IMPROVEMENT  
OF THE ELECTRIC DRIVE OF A QUARRY EXCAVATOR**

*O. Shefer, Doctor of Science, professor,*

*V. Haiduk, undergraduate*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**UDC 621.396:004.62**

*O. Shefer, Doctor of Science, professor,*

*B. Holovchansky, undergraduate*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ENHANCING EFFICIENCY OF SATELLITE TELEMETRY CHANNELS IN RAILWAY MONITORING APPLICATIONS**

The efficiency, reliability, and safety of modern railway infrastructure increasingly depend on the continuous acquisition of accurate telemetry data regarding the technical condition of rolling stock, locomotive subsystems, track infrastructure, and operating parameters. As the industry transitions toward intelligent transport technologies and data-driven operational management, there is a growing need for monitoring systems capable of providing uninterrupted connectivity to mobile railway objects moving across large territories, including remote regions with limited or no terrestrial communication coverage. Satellite communication technologies therefore become a key component for ensuring long-range, stable, and accessible telemetry services in railway applications.

However, satellite communication systems present several limitations, such as high transmission costs, restricted bandwidth, increased communication latency, and energy constraints on board the monitored object. These challenges highlight the necessity of optimizing the processes of telemetry data collection, preprocessing, aggregation, prioritization, and transmission. Effective optimization strategies make it possible to reduce communication load, improve data relevance, and enhance the responsiveness of railway monitoring systems.

A promising direction involves the use of adaptive models for forming telemetry packets, which adjust the volume, frequency, and structure of transmitted data based on the operating mode of the rolling stock, the dynamics of the monitored parameters, the current state of satellite channels, and the criticality of the information. Intelligent methods enable significant reductions in data traffic through techniques such as sensor-level data filtering, temporal data compression, event-triggered reporting, and selective transmission of critical diagnostic indicators in real time. This approach is particularly relevant for parameters associated with vibration diagnostics, axle temperature monitoring, brake system performance, diesel-generator operation, and locomotive control subsystems.

Energy-efficient communication protocols represent another essential component of optimization. Lightweight IoT-class protocols such as MQTT-SN or CoAP, as well as specialized narrowband transport protocols, help minimize overhead and reduce energy consumption of onboard telemetry modules. Embedding machine learning-based predictive analytics directly on the rolling stock further decreases communication load by transmitting only diagnostic

events, anomaly alerts, or predictive maintenance indicators instead of large volumes of raw sensor data.

A substantial improvement in performance can also be achieved through the use of hybrid communication architectures that combine satellite channels with terrestrial GSM/LTE/5G networks. Automated channel selection mechanisms allow the system to dynamically choose the most efficient link based on signal quality, availability, cost, and current network load. Such hybrid systems ensure reliable delivery of telemetry data while reducing overall communication expenses and increasing operational flexibility.

On the ground infrastructure side, advanced methods for processing large-scale telemetry datasets enable improved diagnostics, anomaly detection, and forecasting of technical failures. Machine-learning models can identify hidden patterns in long-term operational data, detect abnormal behavior of locomotive components in early stages, and support predictive maintenance strategies. This allows operators to reduce downtime, extend equipment life, and increase the safety and efficiency of railway.

The conducted research includes a systematic analysis of modern satellite monitoring architectures and identifies the key bottlenecks in telemetry transmission processes. A comprehensive optimization framework is proposed, which integrates: Adaptive telemetry packet formation based on parameter priority and operating conditions; Onboard preprocessing and predictive modelling to reduce the volume of transmitted data; Intelligent communication channel management within hybrid satellite–terrestrial systems; Use of lightweight telemetry protocols to decrease overhead and latency; Cybersecurity measures such as lightweight encryption and secure authentication mechanisms.

These approaches collectively improve the performance of satellite-based monitoring systems, reduce operational costs, enhance communication reliability, and provide stable access to mission-critical data required for decision-making in railway.

In conclusion, optimizing the processes of telemetry data collection and transmission is a crucial factor in the digital transformation of the railway sector. Adaptive, energy-efficient, and intelligent monitoring systems form the technological foundation for predictive analytics, real-time diagnostics, and advanced decision-support tools. The development and deployment of such systems pave the way for safer, more efficient, and more resilient railway transport infrastructures capable of meeting the demands of modern mobility and long-distance operational environments.

#### **ЛІТЕРАТУРА:**

1. *Rappaport T. S. Wireless Communications: Principles and Practice. – 3rd ed. – Hoboken (NJ): Wiley, 2023. – 912 p.*

2. Jain R., Hassan M. *Satellite IoT and Telemetry for Intelligent Transport Systems*. – Cham: Springer, 2022. – 244 p.

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУПУТНИКОВИХ  
ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ КАНАЛІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ НА ЗАЛІЗНИЦІ**

*О.В. Шефер, д.т.н., професор,*

*Б.І. Головчанський, магістрант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія  
Кондратюка»*

**УДК 621.391**

*О.В. Шефер, д.т.н., професор,*

*О.О. Куц, аспірант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **АДАПТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СЕРВІСІВ**

Розвиток телекомунікаційних технологій супроводжується зростанням кількості користувачів, різноманітності сервісів та вимог до їхньої надійності й затримок. Традиційні методи управління мережевими ресурсами не завжди забезпечують необхідний рівень якості обслуговування в умовах динамічного трафіку та обмежених ресурсів [1]. Це зумовлює необхідність розробки та впровадження удосконалених методів оптимізації сервісів, здатних адаптуватися до змін мережевого середовища.

Метою роботи є удосконалення методів оптимізації сервісів у телекомунікаційних мережах шляхом інтеграції детермінованих, стохастичних та адаптивних підходів до управління ресурсами. Основними завданнями дослідження є:

- аналіз існуючих методів оптимізації сервісів у мережах зв'язку;
- дослідження можливостей детермінованих і стохастичних моделей в умовах змінного трафіку;
- розробка комбінованих адаптивних підходів до розподілу ресурсів;
- оцінка ефективності запропонованих методів за показниками QoS та енергоефективності.

Методи дослідження. Використано методи системного аналізу, математичного моделювання та імітаційного експерименту [2]. Розглянуто:

- детерміновані методи, що базуються на відомих параметрах каналів і прогнозованих характеристиках трафіку;
- стохастичні моделі, які враховують випадкові коливання навантаження, затримки та втрати пакетів;
- адаптивні алгоритми, здатні динамічно змінювати стратегії розподілу ресурсів залежно від поточного стану мережі та вимог сервісів.

Основні результати. Проведене моделювання показало, що детерміновані методи забезпечують високу ефективність у стабільних умовах, проте їх застосування обмежене при різких змінах навантаження [3]. Стохастичні підходи дозволяють більш адекватно описувати реальні умови функціонування мережі, однак потребують значних обчислювальних ресурсів. Найкращі результати продемонстрували адаптивні та комбіновані методи, які забезпечують баланс між пропускнуою здатністю, затримками та енергоспоживанням.

Запропонований підхід до інтеграції детермінованих і адаптивних алгоритмів дозволяє підвищити стабільність сервісів, знизити рівень втрат пакетів та забезпечити дотримання вимог QoS у мережах 5G/6G та IoT.

Практичне значення. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та експлуатації сучасних телекомунікаційних мереж, зокрема для:

- оптимізації мобільних мереж п'ятого та шостого поколінь;
- управління ресурсами хмарних та віртуалізованих мереж;
- підвищення енергоефективності мережевої інфраструктури;
- забезпечення надійної роботи сервісів IoT.

Висновки. Удосконалення методів оптимізації сервісів у телекомунікаційних мережах на основі адаптивних і комбінованих підходів є перспективним напрямом підвищення ефективності та надійності мереж. Запропоновані методи дозволяють забезпечити високий рівень QoS за умов динамічного трафіку та обмежених ресурсів, що є критично важливим для сучасних і перспективних телекомунікаційних систем.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *3GPP TS 23.501 V18.2.0. System Architecture for the 5G System (5GS).* – 3GPP, 2023. – 189 p.
2. *Li X., Wang C., Wang Y. Adaptive Resource Allocation for QoS Provisioning in IoT Networks // IEEE Internet of Things Journal.* – 2021. – Vol. 8, No. 10. – P. 8123–8134.
3. *Zhang Z., Xiao Y., Ma Z. et al. 6G Wireless Networks: Vision, Requirements, Architecture, and Key Technologies // IEEE Vehicular Technology Magazine.* – 2019. – Vol. 14, No. 3. – P. 28–41.

#### ADAPTIVE OPTIMIZATION OF TELECOMMUNICATION SERVICES

*O. Shefer, Doctor of Science, professor,*

*O. O. Kushch, postgraduate*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

УДК 004.056.53:004.738.5

*О.В. Шефер, д.т.н., професор,*

*Д.Р. Олексієнко, аспірант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **АДАПТИВНІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ПОВЕДІНКОВОГО АНАЛІЗУ**

Стрімкий розвиток цифрових технологій, зростання обсягів даних та масштабування телекомунікаційних мереж створюють нові можливості для соціально-економічного розвитку, проте одночасно формують широкий спектр загроз інформаційній безпеці. Телекомунікаційні мережі сьогодні є критичною інфраструктурою, що забезпечує функціонування державних, промислових, енергетичних, транспортних та фінансових систем [1, 2]. Порушення їхньої роботи внаслідок кібератак може призвести до значних фінансових збитків, витоку конфіденційних даних, руйнування технологічних процесів і навіть загроз національній безпеці. З огляду на це пошук нових методів і засобів кіберзахисту телекомунікаційних мереж набуває стратегічного значення.

Традиційні засоби захисту – фаєрволи, системи запобігання вторгненням, антивірусні рішення – переважно ґрунтуються на сигнатурних підходах, тобто виявляють загрози за заздалегідь відомими шаблонами. Такий підхід є ефективним лише щодо відомих атак і не здатний своєчасно виявляти нові, модифіковані чи цілеспрямовані загрози (APT), які активно застосовуються у сучасному кіберпросторі. Динамічність, різноплановість та інтелектуальна складність сучасних атак зумовлюють необхідність застосування методів, здатних реагувати на нетипову поведінку, а не лише на фіксовані ознаки шкідливості [3].

Поведінковий аналіз мережевого трафіку є одним з найбільш перспективних напрямів сучасного кіберзахисту. Він базується на формуванні моделей нормальної активності мережі та виявленні аномалій, що можуть бути індикаторами кібератак. Такий підхід дозволяє виявляти атаки нульового дня, приховані вторгнення, внутрішні загрози, а також складні багатоступеневі атаки, які важко детектувати сигнатурними інструментами. Важливим фактором є й те, що поведінковий аналіз добре масштабується в умовах збільшення кількості підключених пристроїв, розширення периферійних мереж, переходу підприємств до хмарних технологій та розвитку концепції Інтернету речей (IoT).

Попри значні досягнення в цій сфері, існує низка наукових проблем, що потребують подальшого опрацювання [4]. По-перше, складність мережевого трафіку та високий рівень його динамічності унеможливають

пряме використання класичних методів статистичного аналізу, що вимагає розроблення нових гібридних методів на основі машинного навчання та нейронних мереж. По-друге, зростає потреба у підвищенні точності виявлення аномалій, адже велика кількість хибних спрацьовувань знижує ефективність системи кіберзахисту та ускладнює роботу фахівців. По-третє, сучасні телекомунікаційні мережі мають складну розподілену структуру, а отже методи аналізу мають адаптуватися до багаторівневих топологій, різнорідних протоколів і вимог до пропускнуої здатності.

Актуальною також є проблема інтеграції поведінкового аналізу з існуючими системами інформаційної безпеки підприємств. Необхідні нові підходи до створення апаратних та програмних модулів, здатних працювати у режимі реального часу, забезпечувати швидку обробку великих масивів даних (big data) та ефективно функціонувати в умовах обмежених ресурсів. Значної уваги потребують і методи комплексного аналізу трафіку, що враховують контекст взаємодій, часові залежності та кореляційні зв'язки між подіями. У цьому контексті перспективним напрямом є розроблення архітектур систем мережевого моніторингу з підтримкою самонавчання та адаптивного реагування на загрози.

Дослідження спрямоване на вирішення важливої науково-прикладної проблеми – підвищення ефективності захисту телекомунікаційних мереж шляхом застосування інтелектуальних методів поведінкового аналізу трафіку та розроблення новітніх технічних засобів для їх впровадження.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Барабаш, О. В., Маркова, І. М. *Захист інформації в телекомунікаційних мережах: підручник*. Львів: Львівська політехніка, 2021. 406 с.
2. Козік, В. В., Романенко, В. Г. *Кібербезпека телекомунікаційних систем: монографія*. Київ: ДУТ, 2020. 312 с.
3. Kim, S., Lee, S., & Kim, H. *Detecting Zero-day Malware Using Behavioral Analysis and Machine Learning*. International Journal of Security and Networks, 2020, 15(2), pp. 65–76.
4. Koukoulis, I., Syrigos, I., & Korakis, T. (2025). Self-supervised transformer-based contrastive learning for intrusion detection systems. *arXiv preprint*.

### ADAPTIVE METHODS FOR ANOMALIES DETECTION IN TELECOMMUNICATION NETWORKS BASED ON BEHAVIORAL ANALYSIS

*O. Shefer, Doctor of Science, professor,*

*D. Oleksiienko, postgraduate*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 621.316.7:621.565.86**

*О.В. Шефер, д.т.н., професор,*

*Д.В. Рибка, магістрант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ТЕПЛООВОГО НАСОСА З АВТОНОМНИМ ЖИВЛЕННЯМ**

Зростання вимог до енергоефективності та автономності промислових будівель зумовлює активний розвиток сучасних систем опалювання, побудованих на базі теплових насосів з інтелектуальним автоматизованим електроприводом. Такі системи дозволяють не лише забезпечити стабільний температурний режим у виробничих приміщеннях, але й значно скоротити витрати на електроенергію та підвищити енергетичну незалежність об'єкта.

У дослідженні розглянуто принципи розроблення автоматизованого електропривода теплового насосу, що ґрунтується на застосуванні частотно-регульованих електродвигунів для компресора та циркуляційного насоса. Завдяки впровадженню частотного регулювання забезпечується плавний пуск обладнання, ефективне регулювання продуктивності та мінімізація перевантажень у мережі. Це дає можливість адаптивно реагувати на змінні теплові навантаження у виробничому приміщенні та підтримувати комфортний мікроклімат за різних режимів роботи підприємства.

Сформовано структурну схему системи керування, яка включає сенсорний комплекс для контролю температури повітря та теплоносія, мікропроцесорний контролер, модулі потужності, виконавчі елементи та пристрої електрозахисту. Розроблені алгоритми автоматичного керування враховують інерційність теплотехнічних процесів, зовнішні кліматичні чинники та графік роботи виробництва, що підвищує стабільність і точність регулювання.

Особливий акцент у роботі зроблено на інтеграції теплонасосної установки з автономною системою живлення на базі сонячних модулів (рис. 1). Автономна енергетична система включає набір фотоелектричних панелей, акумуляторну батарею та регулятор-перетворювач, який керує процесами заряджання і розряджання, здійснює перемикання між джерелами «сонячна батарея – акумулятор», а також забезпечує узгодження напруги для живлення електроприводів і допоміжного обладнання. Наявність автоматичного введення резерву (АВР) гарантує безперервність роботи опалювальної системи навіть за умов недостатнього сонячного випромінювання чи пікових навантажень.

У разі потреби отримання змінної напруги до системи додається інвертор, який перетворює постійну напругу акумуляторів у змінну, що

забезпечує стабільне живлення теплового насосу, електродвигунів та електронних систем керування. Таке поєднання теплового насосу з автономним джерелом живлення дозволяє реалізувати енергетично незалежну систему опалювання, здатну працювати ефективно у віддалених або енергодефіцитних районах.

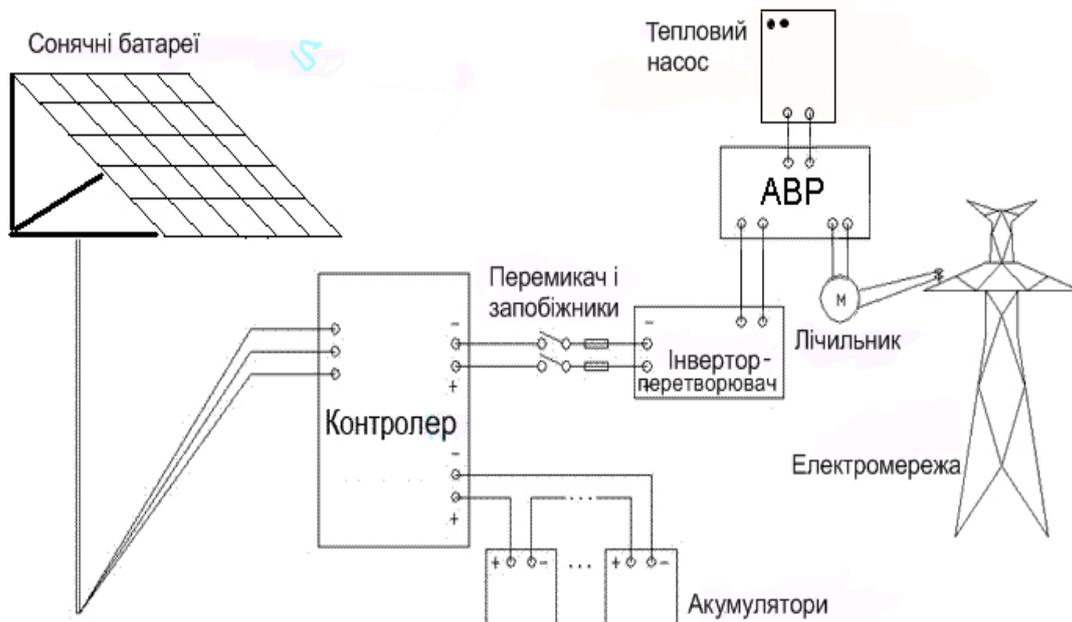


Рисунок 1 – Функціональна схема живлення теплового насоса від сонячних батарей

Розроблена концепція поєднання автоматизованого електропривода та автономної системи живлення забезпечує значне підвищення надійності, енергоефективності та економічності роботи теплотехнічного обладнання. Комплексна система дає можливість знизити експлуатаційні витрати, оптимізувати режими роботи теплового насосу та підвищити рівень енергетичної незалежності виробничої інфраструктури.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Кучеренко С. О. *Відновлювані джерела енергії в теплопостачанні: навч. посіб.* – Полтава: ПолтНТУ, 2018. – 228 с.
2. *Energy Efficiency Directive (EU) 2023/1791 [Електронний ресурс].* – European Parliament, 2023. – Режим доступу: <https://eur-lex.europa.eu>
3. Datta A., Chakraborty C. *Power Electronics for Solar and Wind Systems.* – Berlin: Springer, 2023. – 286 p.

**AUTOMATED ELECTRIC DRIVE FOR HEAT PUMP WITH  
AUTONOMOUS POWER SUPPLY**

*O. Shefer, Doctor of Science, professor,*

*D. Rybka, undergraduate*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

УДК 621.396.96:550.83:553.98

*О.В. Шефер, д.т.н., професор,*

*П.О. Яценко, магістрант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ МЕТОДИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПОКЛАДІВ

Удосконалення телекомунікаційних технологій у геофізичному моніторингу відіграє ключову роль у підвищенні точності та оперативності виявлення вуглеводневих покладів. Одним із перспективних напрямів є застосування багаточастотних електромагнітних методів, що дають змогу оцінити електрофізичні та структурні параметри анізотропного середовища над вуглеводневими зонами. У роботі розглянуто моделювання процесів поширення та взаємодії електромагнітного випромінювання (ЕМВ) у геологічних середовищах складної структури, а також визначено засоби підвищення телекомунікаційної спроможності систем моніторингу шляхом аналізу параметрів сигналів різної частотної та часової структури.

На першому етапі проведено моделювання взаємодії ЕМВ із середовищем над вуглеводневими покладами з урахуванням електрофізичних та фізико-хімічних властивостей гірських порід. Виконано аналіз діелектричних і провідних параметрів середовища на околиці покладів, що дозволило сформуванню узагальнену модель анізотропного середовища. Досліджено поведінку тензора електричної проникності за різних частот та умов збудження, що є необхідною основою для подальших радіотехнічних вимірювань.

Наступним етапом стало електродинамічне моделювання взаємодії електромагнітних хвиль із зазначеним середовищем.

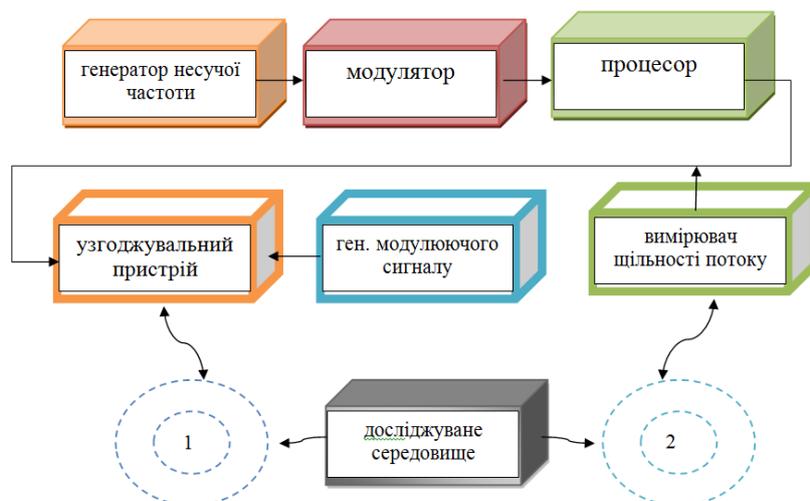


Рисунок 1 – Структурна схема для дослідження меж нафтових покладів у режимі амплітудно-модулюючих сигналів: 1, 2 - антени

Для забезпечення дальності зони досліджуваних антен, частоти досліджуваних сигналів вибиралися з умов геометрії об'єкта, що моделюється. Так, наприклад, при частоті  $f=3\text{ГГц}$  ( $\lambda=10\text{см}$ ) відстань  $20\lambda$ , а ширина  $d=h=4\lambda$ .

Було розглянуто моделі поширення сигналів у середовищах із різними типами анізотропії, у тому числі слабо- та сильноанізотропних структурах. В окремих підзадачах досліджено реакцію середовища на бігармонійні сигнали низько- та високочастотного діапазонів, амплітудно-модульовані та частотно-модульовані сигнали. Особливу увагу приділено ефектам змін тензора проникності під дією потужних сигналів, що дає змогу встановлювати границі геологічних неоднорідностей.

Проведено аналіз дисперсійних та частотних характеристик середовища над вуглеводневими покладами з використанням багаточастотних та модульованих сигналів. Визначено умови, за яких зміни компонент тензора діелектричної проникності мають максимальну інформативність щодо просторової структури середовища. Окремо проаналізовано взаємодію АМ-, ЧМ- та АЧМ-сигналів з анізотропними утвореннями, що дозволило уточнити критерії виділення кордонів неоднорідностей.

Практичні результати роботи демонструють можливість реалізації телекомунікаційних методів реєстрації природного випромінювання вуглеводневих покладів та методів визначення меж покладів на основі змін електричного поля двох частот. Додатково розглянуто застосування акустичних сигналів для уточнення меж анізотропних областей та використання вимірювань імпедансу антен як діагностичного параметра. Представлено структурну схему радіотехнічної системи для багаточастотного електромагнітного моніторингу, оптимізовану для польових умов.

Отримані результати підтверджують перспективність телекомунікаційних технологій із використанням багаточастотних ЕМ-полів для геофізичного виявлення вуглеводневих покладів та створюють підґрунтя для розроблення високочутливих систем дистанційного моніторингу складних геологічних структур.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Довгий С. О., Воробієнко П. П., Гуляєв К. Д. *Сучасні телекомунікації: Мережі, технології, безпека, економіка, регулювання. 2-ге вид., доп. / за ред. Довгого С.О. Київ: Азимут-Україна, 2013. – 608 с.*
2. Миронцов М.Л. *Електрометрія нафтогазових свердловин – К.: ТОВ «Видавництво «Юстон», 2019. – 217 с.*

**ELECTROMAGNETIC METHODS OF TELECOMMUNICATION  
MONITORING FOR DETECTION OF HYDROCARBON DEPOSITS**

*O. Shefer, Doctor of Science, professor,*

*P. Yashchenko, undergraduate*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

УДК 621.391.8:621.396.67:004.421.2:004.89

*О.В. Шефер, д.т.н., професор,*

*В.С. Ястреба, аспірант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **ЧАСТОТНО-ЧАСОВІ ТА АДАПТИВНІ МЕТОДИ ЦИФРОВОЇ ОБРОБКИ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ У БАГАТОКАНАЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

Сучасний етап розвитку телекомунікаційних систем характеризується стрімким зростанням обсягів переданої інформації, розширенням спектральних діапазонів та ускладненням сигнально-завадової обстановки. Це зумовлює широке використання широкосмугових сигналів у системах мобільного, супутникового та бездротового зв'язку нового покоління. У таких умовах цифрова обробка сигналів відіграє ключову роль у забезпеченні високої пропускну здатності, завадостійкості та енергоефективності телекомунікаційних систем.

Особливу актуальність набуває розроблення нових і вдосконалення існуючих методів цифрової обробки широкосмугових сигналів, які здатні працювати в режимі реального часу та адаптуватися до змінних умов передачі інформації.

Широкасмугові сигнали характеризуються значною смугою пропускання, складною часово-частотною структурою та високими вимогами до точності синхронізації. Застосування таких сигналів дозволяє підвищити швидкість передавання даних, покращити спектральну ефективність і забезпечити стійкість до багатопроменевого поширення. Водночас це призводить до зростання обчислювальної складності алгоритмів обробки та підвищених вимог до апаратних ресурсів [1].

У телекомунікаційних системах широкосмугові сигнали часто використовуються у поєднанні з багатоканальними та багатопозиційними методами передавання, що додатково ускладнює задачі фільтрації, детекції та оцінювання параметрів сигналів.

Одним з основних напрямів цифрової обробки широкосмугових сигналів є частотно-часовий аналіз. Широко застосовуються швидке перетворення Фур'є, вейвлет-перетворення та методи короткочасного спектрального аналізу. Такі підходи дозволяють ефективно описувати нестационарні процеси та виділяти корисні компоненти сигналу на фоні шумів і завад [1].

Важливе місце займають цифрові фільтри, зокрема адаптивні та багатосмугові фільтри, які використовуються для пригнічення завад, компенсації спотворень каналу та формування спектра сигналу [2]. Адаптивні алгоритми, такі як LMS та RLS, забезпечують автоматичне

підлаштування параметрів фільтра до поточних умов передачі, що є особливо важливим для рухомих і багатопроменевих каналів зв'язку.

Окрему увагу приділено методам цифрової модуляції та демодуляції широкосмугових сигналів, зокрема OFDM, UFMC та FBMC. Ці методи дозволяють ефективно використовувати спектр і забезпечують високу стійкість до міжсимвольних завад, що є критично важливим для сучасних та перспективних телекомунікаційних систем.

Сучасні тенденції розвитку цифрової обробки сигналів передбачають активне використання методів штучного інтелекту та машинного навчання. Інтелектуальні алгоритми застосовуються для задач класифікації сигналів, оцінювання параметрів каналу, адаптивного розподілу ресурсів та оптимізації алгоритмів обробки [2].

Використання нейронних мереж і методів глибокого навчання дозволяє підвищити точність обробки широкосмугових сигналів в умовах складної заводої обстановки та обмежених апаратних ресурсів. Особливо перспективним є поєднання класичних методів цифрової обробки з інтелектуальними алгоритмами, що забезпечує баланс між обчислювальною складністю та якістю обробки.

Реалізація методів цифрової обробки широкосмугових сигналів потребує врахування обмежень апаратної платформи, зокрема швидкодії процесорів, енергоспоживання та затримок обробки. Актуальними є питання оптимізації алгоритмів, паралельної обробки даних і використання спеціалізованих апаратних засобів, таких як DSP-процесори, FPGA та GPU. Застосування програмно-конфігурованих радіосистем і гнучких архітектур обробки сигналів дозволяє швидко адаптувати алгоритми до різних сценаріїв використання, що є важливою вимогою для сучасних телекомунікаційних систем.

Розроблення методів цифрової обробки широкосмугових сигналів є одним з ключових напрямів розвитку телекомунікаційних систем. Поєднання класичних алгоритмів цифрової обробки з адаптивними та інтелектуальними методами дозволяє забезпечити високу ефективність передавання інформації, заводостійкість і гнучкість систем зв'язку. Подальші дослідження у цьому напрямі пов'язані з оптимізацією обчислювальної складності, впровадженням штучного інтелекту та адаптацією методів обробки до вимог систем зв'язку наступних поколінь.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Самборський І. І., Шолохов С. М., Юрченко О. В. *Основи цифрової обробки сигналів.* – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 171 с.
2. Дікареєв О. В. *Цифрова обробка сигналів: навчально-методичний посібник.* – Київ: ДУІКТ, 2009. – 156 с.

**TIME-FREQUENCY AND ADAPTIVE METHODS OF DIGITAL  
PROCESSING OF BROADBAND SIGNALS IN MULTI-CHANNEL  
TELECOMMUNICATION SYSTEMS**

*O. Shefer, Doctor of Science, professor,*

*V. Yastreba, postgraduate*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

**УДК 621.396:519.21:519.85**

*О.В. Шефер, д.т.н., професор,*

*О.С. Ястреба, аспірант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **АДАПТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ ЗА УМОВ ДІЇ ВИПАДКОВИХ ЗБУРЕНЬ**

Сучасний етап розвитку радіотехніки характеризується ускладненням структури пристроїв та систем, підвищенням вимог до точності обробки сигналів, надійності функціонування та енергоефективності. При цьому реальні умови експлуатації радіотехнічних пристроїв супроводжуються дією різноманітних випадкових збурень, зумовлених внутрішніми шумами елементної бази, зовнішніми завадами, нестабільністю параметрів компонентів, температурними впливами та змінами навколишнього середовища. Наявність таких збурень істотно впливає на якісні показники роботи радіотехнічних пристроїв і може призводити до зниження точності, втрати інформації, зростання похибок вимірювання та зменшення загальної ефективності систем.

Традиційні підходи до аналізу та оптимізації радіотехнічних пристроїв здебільшого базуються на детермінованих моделях, які не повною мірою відображають реальні умови функціонування. У зв'язку з цим актуальним є розроблення методик, що дозволяють враховувати випадковий характер збурень уже на етапі математичного моделювання, синтезу та оптимізації параметрів пристроїв радіотехніки.

У даній роботі запропоновано методику оптимізації роботи радіотехнічних пристроїв з урахуванням дії випадкових збурень, яка базується на використанні стохастичних моделей і методів теорії ймовірностей та математичної статистики. Методика передбачає формування узагальненої математичної моделі радіотехнічного пристрою у вигляді системи рівнянь, параметри яких описуються як випадкові величини або випадкові процеси з відомими статистичними характеристиками. Особливу увагу приділено моделюванню шумів і завад, що найбільш суттєво впливають на якість обробки сигналів.

У рамках запропонованого підходу здійснюється аналіз статистичних характеристик вихідних сигналів пристрою, зокрема математичного сподівання, дисперсії, кореляційних функцій та спектральних щільностей. На основі цього формуються критерії оптимізації, які можуть включати мінімізацію середньоквадратичної похибки, максимізацію відношення сигнал/шум, забезпечення стійкості до параметричних збурень та зменшення енергетичних витрат. Залежно від призначення радіотехнічного

пристрою можливе використання багатокритеріальної оптимізації з урахуванням вагових коефіцієнтів.

Для пошуку оптимальних параметрів у роботі розглянуто застосування методів стохастичної оптимізації, зокрема градієнтних методів із випадковими збуреннями, методів Монте-Карло, а також адаптивних алгоритмів налаштування, які дозволяють коригувати параметри пристрою в реальному часі залежно від поточних умов функціонування. Запропонована методика є універсальною та може бути адаптована до різних класів радіотехнічних пристроїв, включаючи підсилювачі, фільтри, приймально-передавальні тракти та системи обробки сигналів.

Результати комп'ютерного моделювання свідчать, що використання стохастичного підходу до оптимізації дозволяє суттєво підвищити завадостійкість та стабільність роботи радіотехнічних пристроїв порівняно з детермінованими методами. Зокрема, досягнуто зменшення середньоквадратичної похибки вихідного сигналу та покращення показників відношення сигнал/шум у широкому діапазоні рівнів випадкових збурень. Це підтверджує доцільність урахування випадкових факторів на етапі проектування та налаштування радіотехнічних систем.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання запропонованої методики під час проектування, модернізації та експлуатації радіотехнічних пристроїв у телекомунікаційних системах, радіолокації, навігації та системах автоматичного керування. Подальші дослідження доцільно спрямувати на експериментальну перевірку методики та її адаптацію до конкретних апаратних платформ і умов реальної експлуатації.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Куліш О. В., Ковальчук П. В. *Стохастичні методи обробки сигналів у радіотехнічних системах : монографія.* – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2020. – 284 с.
2. Гаврилюк В. І., Литвиненко О. Є. *Аналіз впливу шумів і завад на характеристики радіотехнічних пристроїв // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Радіотехніка».* – 2021. – № 84. – С. 45–52.
3. Zhang Y., Wang X., Chen L. *Stochastic optimization methods for robust radio-frequency system design // IEEE Transactions on Communications.* – 2022. – Vol. 70, No. 6. – P. 3921–3933.
4. Сергієнко І. В., Гнатюк С. О. *Методи оптимізації в радіоелектроніці та телекомунікаціях.* – Київ : Наукова думка, 2018. – 412 с.

**ADAPTIVE OPTIMIZATION OF RADIO DEVICES UNDER THE  
CONDITIONS OF RANDOM DISTURBANCES**

*O. Shefer, Doctor of Science, professor,*

*O. Yastreba, postgraduate*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

**УДК 621.391**

*О.В. Шефер, д.т.н., професор,*

*Я.В. Шептун, аспірант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **АДАПТИВНО-СТОХАСТИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ**

Сучасні цифрові системи зв'язку функціонують в умовах зростання обсягів переданої інформації, ускладнення сигнально-завадової обстановки та підвищених вимог до якості обслуговування. Забезпечення високої пропускної здатності, надійності передавання та енергоефективності зумовлює необхідність удосконалення методів оптимізації цифрових систем зв'язку. У роботі розглянуто та проаналізовано детерміновані, стохастичні та адаптивні методи оптимізації, а також обґрунтовано доцільність їх комбінування для підвищення ефективності функціонування сучасних телекомунікаційних систем [1, 2].

Цифрові системи зв'язку є основою сучасних телекомунікаційних мереж, зокрема мобільних систем 5G/6G, супутникового та радіорелейного зв'язку, мереж Інтернету речей. Їх розвиток супроводжується підвищенням вимог до швидкості передавання даних, мінімізації затримок, зниження рівня помилок та енергоспоживання. Традиційні підходи до проектування і експлуатації цифрових систем не завжди забезпечують необхідні показники якості в умовах змінних параметрів каналу та нестабільного трафіку [3]. У зв'язку з цим актуальною є задача розробки та застосування ефективних методів оптимізації цифрових систем зв'язку.

Метою роботи є аналіз і удосконалення методів оптимізації цифрових систем зв'язку з урахуванням сучасних вимог до якості та ефективності передавання інформації.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

- проаналізувати основні підходи до оптимізації цифрових систем зв'язку;
- дослідити можливості детермінованих і стохастичних методів оптимізації;
- розглянути адаптивні алгоритми як основу підвищення ефективності систем зв'язку;
- оцінити переваги комбінованих методів оптимізації.

Детерміновані методи оптимізації базуються на відомих або заздалегідь оцінених параметрах каналу зв'язку, сигнально-завадової обстановки та характеристиках передаваних сигналів. Вони характеризуються відносною простотою реалізації та стабільністю

результатів за незмінних умов, однак їх ефективність знижується при динамічних змінах параметрів середовища [4].

Стохастичні методи враховують випадковий характер завад, шумів і флуктуацій параметрів каналу. Такі підходи дозволяють більш адекватно описувати реальні умови функціонування цифрових систем зв'язку, проте потребують значних обчислювальних ресурсів і складних математичних моделей.

Адаптивні методи оптимізації забезпечують динамічну зміну параметрів системи зв'язку залежно від поточного стану каналу, рівня завад і вимог до якості обслуговування. До таких методів належать адаптивна модуляція і кодування, керування потужністю передавання, адаптивна фільтрація та алгоритми оцінювання параметрів каналу.

Аналіз показує, що найбільшу ефективність у сучасних цифрових системах зв'язку забезпечують комбіновані методи оптимізації, які поєднують детерміновані та адаптивні підходи. Такі методи дозволяють досягти компромісу між складністю реалізації, енергоефективністю та якістю передавання інформації. Використання адаптивних алгоритмів сприяє зниженню ймовірності помилок, підвищенню пропускну здатності та стабільності роботи систем зв'язку в умовах змінного каналу.

Запропоновані підходи до оптимізації цифрових систем зв'язку можуть бути використані:

- при проєктуванні та модернізації телекомунікаційних систем;
- у мобільних і бездротових мережах нового покоління;
- у системах передачі даних з обмеженими енергетичними ресурсами;
- для підвищення завадостійкості та надійності цифрових каналів зв'язку.

Оптимізація цифрових систем зв'язку є ключовим напрямом підвищення їх ефективності та надійності. Адаптивні та комбіновані методи оптимізації дозволяють забезпечити високі показники якості передавання інформації в умовах динамічної сигнально-завадової обстановки та обмежених ресурсів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розвиток інтелектуальних методів оптимізації із застосуванням машинного навчання.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. *Стеглов В. К., Беркман Л. Н. Телекомунікаційні мережі: підручник.* – Київ: Техніка, 2018. – 432 с.
2. *Прокіс Дж. Цифровий зв'язок.* – Київ: Видавництво НТУУ «КПІ», 2016. – 620 с.
3. *Sklar B. Digital Communications: Fundamentals and Applications.* – 2nd ed. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001. – 1079 p.

4. *Goldsmith A. Wireless Communications. – Cambridge: Cambridge University Press, 2005. – 644 p.*

**ADAPTIVE–STOCHASTIC APPROACHES TO THE OPTIMIZATION OF DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS**

*O. Shefer, Doctor of Science, professor,*

*Ya. V. Sheptun, postgraduate*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

**УДК 62.5**

*М.О. Шокодько, магістрант,*

*С.Г. Кислиця, к.т.н., доцент*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

**ВИБІР І ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ  
ВИРОБНИЧОЇ УСТАНОВКИ ДВОКООРДИНАТНОГО  
ТРАНСПОРТНОГО МОДУЛЯ**

Одним з найважливіших напрямків у вирішенні завдань інтенсивності виробництва і підвищення його ефективності є комплексна автоматизація промисловості. Автоматизація промислових комплексів дозволяє підвищити надійність систем в цілому, завдяки тому, що скорочується кількість використовуваних елементів в системах керування.

Останнім часом для автоматизації промислових установок в основному використовуються мікроконтролери, застосування яких дозволяє підвищити ефективність використання приводів, знизити витрати на ремонт. Такі системи забезпечують швидке переналагодження систем керування, змінивши всього лише параметри керуючих програм. Також системи керування, в яких використовуються мікроконтролери, дозволяють за допомогою пристроїв візуалізації, контролювати велику кількість параметрів, в зручному вигляді для операторів. В даний час мікроконтролери дозволяють забезпечити зв'язок з ЕОМ, що дозволяє оператору контролювати роботу відразу декількох робочих комплексів зі свого робочого місця.

Система керування кроковим двигуном є системою точного відтворення рухів з можливостями як позиційного, так і контурного керування [2]. Вона призначена для створення багатокоординатного крокового електроприводу на базі застосування обертових, лінійних, планарних крокових двигунів і крокових двигунів з комбінованим характером руху, а також для комплексної автоматизації всіх технологічних процесів в складі установки на основі багатокоординатного крокового електроприводу.

Система керування кроковими електродвигунами є мультимікропроцесорною, яка побудована за ієрархічним трирівневим магістрально-модульним принципом.

На нижньому рівні керування реалізується принцип прямого цифрового керування однією віссю електроприводу за допомогою мікропроцесорного контролера – модуля контролера (МК), автономного інвертора струму - модуля інвертора струму (МІ) і блоку електричного дроблення кроку і обробки сигналів датчиків зворотнього зв'язку, конструктивно виконаного у вигляді інтерфейсного модуля зв'язку (МС)

контролера і інвертора струму. Три названих модуля і кроковий двигун (або одна координата багатокординатного двигуна) разом з робочим органом утворюють електропривод осі або однокоординатний електропривод.

Кожен осьовий контролер має вбудований модуль введення-виведення дискретної інформації для прийому логічних сигналів про стан технологічного обладнання і приводу (датчиків кінцевого положення, аварійних датчиків) та видачі технологічних команд (включення - виключення повітря). Це дозволяє здійснювати в найпростішому випадку керування дискретною автоматикою технологічної установки без будь-яких додаткових модулів вводу - виводу дискретних сигналів або окремо встановлених додаткових промислових програмованих контролерів.

На середньому рівні керування здійснюється узгоджене керування за допомогою модуля центрального процесора (МЦП) і загальної шини з магістральним паралельним інтерфейсом декількома осями електроприводу і відповідним технологічним обладнанням, підключеним до модулів вводу-виводу дискретних сигналів окремих осьових контролерів.

До шини магістрального паралельного інтерфейсу під'єднуються всі модулі осьових контролерів та інші програмно-керовані модулі, до числа яких можуть відноситися спеціальні пристрої сполучення з об'єктом керування, наприклад, модулі обміну інформацією по каналу загального користування (МКЗК), додатково забезпечують зв'язок системи керування кроковими двигунами з якими-небудь приладами та інформаційно-вимірювальними системами або додаткові модулі вводу-виводу дискретних сигналів, розраховані на велику кількість виходів і входів.

На верхньому рівні керування здійснюється узгоджене керування групами електроприводів і технологічним обладнанням, підключеним до осьових контролерів. В якості керуючого пристрою на цьому рівні керування використовуються персональні комп'ютери, промислові програмовані контролери та керуючі ЕОМ, що мають вихід на стандартний послідовний інтерфейс RS-232 для сполучення з модулями центрального процесора.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. *Дослідження комп'ютерної системи для дистанційного керування кроковим двигуном у системах "розумний дім" / Д. В. Стаценко, Б. М. Злотенко, Т. І. Кулік, М. В. Латко // Сучасні електромеханічні та інформаційні системи : монографія / за заг. ред. І. В. Панасюка. Київ : КНУТД, 2021. С. 9–14.*

2. *Системи програмного та слідуючого керування рухом [Електронний ресурс]: підручник для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізації «Електромеханічні системи автоматизації, електропривод та*

*електромобільність»/ В.І.Теряєв, С.В.Король. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 150 с.*

**SELECTION AND DESIGN OF AUTOMATION SYSTEM FOR A TWO-COORDINATE TRANSPORT MODULE PRODUCTION PLANT**

*M. Shokodko, master's student,*

*S. Kyslytsia, PhD (Engineering), Associate professor*

*National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"*

УДК 681.58

*Д.В. Щербінін, магістрант,**Н.В. Єрмілова, к.т.н., доцент**Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧЕ УПРАВЛІННЯ ІНДУКТОРНИМ ДИНАМІЧНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОДВІЙНОГО ЖИВЛЕННЯ

В роботі розглянуто електропривод, що працює на базі індукторного двигуна подвійного живлення (ІДПЖ) як перспективний напрям, що поєднує принципи електромагнітного редукування та подвійного живлення [1]. У зв'язку зі зростанням вимог до сучасних електроприводів у промисловості, транспорті та автоматизованих системах, дана робота має чітко визначену актуальність [2].

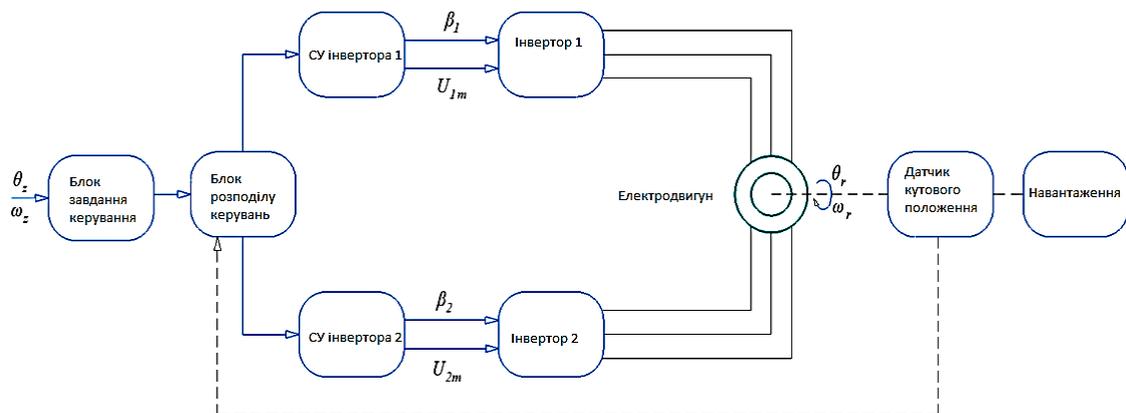


Рис. 1 – Структурна схема індукційного електропривода подвійного живлення з фазозалежним керуванням (ФЗК)

Електропривод з ІДПЖ при ФЗК в загальному вигляді включає в себе двигун з першою та другою статорними обмотками, до яких підключені перший і другий інвертори з відповідними системами керування, що формують на своїх виходах потенціали живлячих напруг (рис.1).

Блок завдання керувань формує закони їх зміни, а сигнали завдання амплітуд, частот і фазових зсувів живлячих напруг формуються залежно від бажаних значень кута повороту та кутової швидкості ротора.

Блок розподілу керувань формує із загальних сигналів завдання окремі сигнали для кожного з двох інверторів. Також до складу системи входять датчик кутового положення ротора та механічне навантаження на даний привод.

Значну увагу в роботі приділено програмно-апаратним засобам (LabVIEW, PXI, FPGA, ОС реального часу), які забезпечують моделювання та керування у режимі реального часу [3]. Під час розробки схем керування

та збору даних в роботі для модуля NI PXI-7833R використовується програмний модуль LabVIEW FPGA у середовищі графічного програмування NI LabVIEW.

Програмні модулі, реалізовані на контролері та модулях введення/виведення, забезпечують роботу системи в режимі реального часу та дозволяють формувати синусоїдальні струми в двох трифазних обмотках ІДПЖ за допомогою широтно-імпульсної модуляції.

Розроблене програмне забезпечення в середовищі LabVIEW складається з проєкту, представленого віртуальними інструментами, розміщеними на ПК, контролері PXI з операційною системою реального часу, а також багатофункціональному модулі введення/виведення з програмованою логічною інтегральною схемою (ПЛІС).

Проведена розробка інтелектуальної системи керування, яка здатна адаптуватися до змін навантаження та забезпечувати високу точність позиціонування. Робота відповідає сучасним тенденціям розвитку мехатронних систем та енергоефективних електроприводів, у ній показане глибоке розуміння предметної області, проведена систематизація класифікації електроприводів та визначені ключові вимоги до прецизійних систем. Практична частина роботи базується на сучасних інструментах (LabVIEW, PXI, FPGA), що підтверджує її прикладну цінність та можливість інтеграції у реальні промислові комплекси.

Запропонована інтелектуальна система керування забезпечує адаптивність, точність та енергоефективність електроприводу, що робить її перспективною для застосування у робототехніці, медичному обладнанні та автоматизованих виробничих процесах [4].

Робота має як теоретичну, так і практичну значимість, може бути використана як основа для подальших досліджень у сфері прецизійних електроприводів та мехатроніки.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *A fault tolerant motor drive for electric power steering systems.* A. Al-Dweik (Newcastle University) 2019. - <http://theses.ncl.ac.uk/jspui/handle/10443/4792>
2. *Brushless Doubly-Fed Reluctance Machine Modeling, Design and Optimization,* Tiago Staudt 2015. - <https://theses.hal.science/tel-01218132>
3. *Using LabVIEW FPGA for Physics Instrumentation and Control*, Gary Boorman 2024. [https://indico.cern.ch/event/1388470/contributions/5911542/attachments/2844999/4974106/CernUG\\_20240424.pdf](https://indico.cern.ch/event/1388470/contributions/5911542/attachments/2844999/4974106/CernUG_20240424.pdf)
4. Цвіркун Л.І. *Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб.* / Л.І. Цвіркун, Г. Грулер ; під заг. ред. Л.І. Цвіркуна ; М-во освіти і науки України,

*Нац. гірн. ун-т. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.*

**ENERGY-SAVING CONTROL OF INDUCTOR DYNAMIC ELECTRIC DRIVE WITH DUAL POWER SUPPLY**

*D. Shcherbinin, undergraduate,*

*N. Yermilova, Ph.D., Associate professor*

*National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”*

Наукове видання

Збірник наукових праць за матеріалами XI Всеукраїнської науково-  
практичної конференції  
«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ: ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ,  
ПРАКТИКА»

---

Дизайн і комп'ютерна верстка  
Відповідальний за випуск

*Захарченко Р.В.*  
*Шефер О.В.*

Оригінал-макет виготовлено на кафедрі автоматики, електроніки та  
телекомунікацій  
Національного університету  
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
просп. Віталія Грицаєнка, 24, м. Полтава, 36011, Україна